

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí



Zpracování dat z GPS pro účely ochrany životního prostředí

Processing of data from GPS for environmental protection

Bakalářská práce

2012

Spracovateľ: Štefan Szabó

Školitel: Ing. Luboš Matějček, Dr.

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí

Vyhlásenie:

„Vyhlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením školiteľa Ing. Luboša Matějčíčka, Dr. a všetky použité pramene som riadne citoval.“

Miesto a dátum:

Podpis:

Pod'akovanie

Ďakujem Ing. Lubošovi Matějčíčkovi Dr. za konzultácie a odborný dohľad nad vypracovaním bakalárskej práce, za poskytnutie vedeckej literatúry a ďalších materiálov, za vysvetľovanie základov práce s prijímačom GPS a zoznámenie s metódami v GIS.

Abstrakt

Moja práca sa zaoberá štúdiom problematiky globálneho polohového systému (GPS) a jeho využitím v oblasti prírodných vied ako sú ekológia, hydrológia, biológia a ďalšie. Hlavný prínos práce spočíva v prieskume súčasných možnostiach získavania čo najpresnejších dát pomocou GPS a ich následným spracovaním v GIS zameraním na ochranu životného prostredia.

Náplňou praktickej časti sú konkrétne príklady na použiteľnosť dát získaných pomocou GPS prístrojov. Hlavná pozornosť v rámci praktickej časti je venovaná storočnej lavine v Žiarskej doline vo Vysokých Tatrách.

Kľúčové slová: GPS, GIS, mapovanie, navigácia, životné prostredie, lavina, Vysoké Tatry

Abstract

This thesis is aimed on the study of Global Positioning System (GPS) and its utilization possibilities in nature sciences such as ecology, hydrology, biology and others. The main contribution of this work is the investigation of current possibilities of the most accurate data collection by using GPS and their subsequent processing in GIS with focus on environmental protection.

Practical part of the thesis focuses on concrete examples of using data collected with GPS. The main attention in the practical part is devoted to avalanche in Žiarska valley in the High Tatras.

Key words: GPS, GIS, mapping, navigation, environment, avalanche, High Tatras

Obsah

Úvod	7
I. Teoretická časť	8
1. História a súčasnosť systému GPS	8
1.1. Čo je GPS ?	8
1.2. História systémov pre určovanie polohy	8
1.2.1. Transit	8
1.2.2. NAVSTAR-GPS	8
1.2.3. Cyklon	9
1.2.4. GLONASS	9
1.2.5. GALILEO	9
1.2.6. COMPASS	10
1.3. Rozširujúce systémy – Lokálne satelitné systémy	11
1.3.1. WAAS	11
1.3.2. LAAS	12
1.3.3. EGNOS	12
1.3.4. Ďalšie významné systémy	13
1.4. Vývoj systému GPS	13
1.5. Princíp fungovania GPS	14
1.5.1. Kozmický segment	14
1.5.2. Riadiaci segment	17
1.5.3. Užívateľský segment	18
1.6. Princíp merania GPS	20
1.7. Technické údaje o systéme	23

1.7.1. Meračské technológie GPS	24
1.7.2. Presnosť merania a faktory ovplyvňujúce presnosť GPS	27
1.8. Referenčné stanice (RS)	32
1.8.1. Funkcia RS	32
1.8.2 SKPOS - Slovenská Priestorová Observačná Služba	32
1.9. Geografické informačné systémy (GIS)	34
1.9.1. Čo je Gis ?	34
1.9.2. V čom sa líši GIS ?	35
1.9.3. Zložky GIS	35
1.9.4. Princíp GIS	36
1.9.5. Úlohy GIS	37
II. Praktická časť	38
2. Možnosti využitia dát získaných pomocou GPS pre ochranu životného prostredia	38
Záver.....	48
Literatúra	49
Zoznam príloh	54

Úvod

Po dlhú dobu sme boli odkázaní pri určovaní polohy kdekoľvek na Zemi na astronomické merania. Rozvoj kozmonautiky nám otvoril nové možnosti. Jednou z nich bola i schopnosť určovať presnú polohu pomocou satelitov. V súčasnej dobe môžeme sledovať prudký technický rozvoj hlavne v oblasti techniky, výpočtovej techniky a informačných systémov, vrátane navigačných systémov a systémov GIS. Táto technika sa v súčasnosti masovo rozširuje do civilnej sféry a stáva sa samozrejmovou súčasťou každodenného života ľudí. Navigačné zariadenia sa za málo rokov stali obvyklou výbavou veľkého počtu osobných áut. Vzhľadom k tomu, že klesajú ceny týchto zariadení sa stále zvyšuje počet užívateľov.

Globálny Polohový Systém (GPS) je jedným z niekoľko družicových navigačných systémov, ktoré slúžia pre určovanie polohy a času kedykoľvek a kdekoľvek na Zemi. Vďaka nemu je možné určiť vektor medzi dvoma bodmi na zemskom povrchu až so subcentimetrovou presnosťou. Aplikácia založená na využívaní globálnych družicových systémov sa neustále rozvíja. Prednosťou meracích techník GPS sú efektivita, dostupnosť a čím ďalej, tým jednoduchšie ovládanie.

Téma ktorá sa týka tejto práce zapadá do rozsiahlej oblasti, ktorá sa nazýva geoinformatika. Podľa definície od Neumanna (1996) je geoinformatika vedecká a technická disciplína, ktorá sa zaoberá zbieraním, uložením, manipuláciou a sprostredkovaním priestorových údajov. Cieľom práce je priblížiť význam geoinformačných technológií, hlavne GPS a čiastočne i GIS. Uplatňujú sa napríklad pri analýzach a hodnotení úrovne znečistenia, alebo pri modelovaní prírodných procesov. Ich prínos je nesporný a to nie len v oblasti životného prostredia. Snahou je priniesť informácie o fungovaní, zložení, chybách a využiteľnosti systému.

V nasledujúcich kapitolách sú predstavené niektoré družicové navigačné systémy, zvláštna pozornosť bude venovaná práve systému GPS. V texte bude popisovaná funkcia referenčných staníc, možnosti zvyšovania presnosti dát a možnosti ich využitia v ochrane prírody. Prvá časť práce je zameraná na históriu mapovania, zložky systému, súčasné trendy a možnosti využitia map. Druhá obsahuje konkrétne príklady, ktoré nám pomôžu pochopiť účinnosť, praktické využitie a dôležitosť systému.

I. Teoretická časť

1. História a súčasnosť systému GPS

1.1. Čo je GPS ?

Skratka GPS pochádza z angličtiny, konkrétne zo slov **G**lobal **P**ositioning **S**ystem, čo v preklade znamená Globálny Polohový Systém. Oficiálny názov celého systému je GPS NAVSTAR (**NA**Vigation **S**ystem for **T**iming **A**nd **R**anging). Prevádzkovateľom tohto systému je Ministerstvo obrany Spojených štátov amerických, ktoré ho vyvinulo pre vojenské účely, aby svoje vojenské jednotky mohli koordinovať a presne určovať polohu, rýchlosť a čas v jednotnom referenčnom systéme.

1.2. História systémov pre určovanie polohy

1.2.1. Transit

Prvý družicový navigačný systém, ktorý bol spustený v roku 1964 v USA pre potreby vojenského námorníctva sa menoval Transit, niekedy tiež NAVSAT (*Navy Navigation Satellite System*). Jeho kozmický segment tvorilo 6 družíc, tj. 3 aktívne ktoré vysielajú, ďalšie 3 ako záloha na obežnej dráhe vo výške 1100 km. Vážia asi 50-120 kg a na nízkej obežnej dráhe (LEO, Low Earth Orbit) sa pohybujú rýchlosťou 7,3 km/s, s dobou obehu okolo Zeme 1h 46min. Na začiatku bola presnosť predikcie dosť nízka okolo 500 m, ktorá sa postupne zvýšila, po roku 1975 až na 5-10 m. Systém bol postupne uvoľnený aj pre civilné využitie a to hlavne pre: civilnú námornú a leteckú dopravu, geológiu (prieskum surovínových zásob), geodéziu a pre určovanie presného času. Nevýhodou bolo, že získané súradnice boli iba dvojrozmerné a tiež dostupnosť signálu bola dočasná. Systém sa od roku 1996 považuje za ukončený. Pokračovanie programu dostalo názov NAVSTAR-GPS. (Trimble 2007)

1.2.2. NAVSTAR-GPS



Je systém, ktorý je dodnes najlepšie prepracovaný a je úplne fungujúcim družicovým systémom pre určovanie polohy a času. Podrobnejšie sa tomuto systému bude venovať nasledujúca kapitola.

1.2.3. Cyklon

Koncom 60-tych rokov aj bývalý Sovietský zväz uviedol do prevádzky Dopplerovský navigačný systém nazvaný CYKLON a dodnes sú používané ďalšie dva obdobné systémy - vojenský šesť družicový s názvom Parus a civilný 4 družicový s názvom Cikada. Kvôli podobným problémom ako u konkurenčného amerického systému Transit sa od neho postupne ustupovalo. Pokračovanie programu dostalo názov GLONASS.

1.2.4. GLONASS



GLONASS (**G**lobalnaja **n**avigacionnaja sputnikovaja sistema, Global Navigation Satellite System) je sovjetský, teraz ruský družicový navigačný systém. Bol navrhnutý obdobne ako GPS tak, aby poskytoval informácie o čase a polohe na Zemi a v jeho blízkosti po celých 24 hodín. Systém GLONASS používa dva signály, z nich presnejší je vyhradený len pre ruské vojenské sily a druhý, menej presný, je určený pre civilných užívateľov. Presnosť kvôli vojenskému využívaniu je utajovaná. V plnom rozsahu má systém 24 družíc, z nich 18 je operačných a 6 záložných. Hlavný rozdiel medzi GPS a GLONASS je v spôsobe rozdelenia frekvenčného pásma. Signál GPS vysielajú všetky aktívne družice na rovnakej frekvencii, ale GLONASS a každá jeho aktívna družica vysielajú na charakteristickej frekvencii. Systém sa skladá z kozmickej družice, riadiaceho strediska a jednotlivých terminálov.

Ministerstvo obrany SSSR vývoj GLONASS začal v 70. rokoch 20. storočia a prvú testovaciu družicu vyslali v roku 1982. V rokoch 1996-2001 kozmická časť systému bola v úpadku, až od roku 2001 sa pracuje na dosiahnutí plného operačného stavu. Od 2010 pre zavedenie tohto systému Rusko spolupracuje s Indiou. [URL8]

1.2.5. GALILEO



Navigačný systém Galileo je plánovaný kozmický systém, ktorý by sa mal stať alternatívou k americkému, armádou kontrolovanému systému GPS a ruskému systému GLONASS. Jeden z hlavných dôvodov pre výstavbu je však to, aby v Európskej únii vznikol nezávislý navigačný systém. Jeho výstavbu realizuje Európska únia a Európska vesmírna agentúra (European Space Agency – ESA) (Kaplan, Hegarty 2006). Systém Galileo pôvodne mal byť prevádzkyschopný od roku 2010, ale tento termín sa z technických dôvodov presunul na 2013 (Sedlák et al. 2009).

Galileo by sa mal stať spoľahlivým, verejnosti celosvetovo dostupným satelitným navigačným systémom, využitelným súčasne európskymi štátmi aj pre vojenské účely, vylepšiť kozmické aplikácie a zlepšiť európsku konkurenciuschopnosť (Trimble 2007). Kompletný systém má pozostávať z 30 družíc, z toho 3 záložné obiehajúce vo výške cca 23 500 km nad povrchom Zeme po dráhach so sklonom 56° k zemskému rovníku v troch rovinách.

Galileo prinesie tri druhy kvality služieb:

1. *Open Service* (OS) bude pre každého zdarma. Jeho signály budú využívať 2 pásma. Prijímače budú mať horizontálnu presnosť lepšiu ako 4 m a vertikálnu lepšiu ako 8 m. Pretože bolo dosiahnutej dohody o kompatibilitate s americkým systémom, budúce prijímače budú zároveň využívať aj GPS.

2. Šifrovaný *Commercial Service* (CS) bude spoplatnený a poskytne presnosť lepšiu ako 1 m. V kombinácii s pozemskými stanicami môže dosiahnuť presnosť až 10 cm. Bude využívať tri pásma.

3. Šifrované *Public Regulated Service* (PRS) a *Safety of Life Service* (SoL) poskytnú presnosť podobnú OS. Budú však odolnejšie proti rušeniu a budú schopné detegovať problémy do 10 sekúnd. Využívať ich budú ozbrojené zložky a dopravcovia.

Okrem uvedených navigačných služieb budú družice systému Galileo poskytovať aj služby núdzovej lokalizácie v rámci celosvetovej družicovej záchranej služby Sarsat/Kospas. (Trimble 2007)

1.2.6. COMPASS



Tento GNSS je projektovaná Čínou, podobne ako u predchádzajúcich systémov hlavným cieľom je vytvorenie čo najpresnejšieho a nezávislého navigačného systému. COMPASS (tiež známy ako Beidou-2) je pokračovaním a vylepšením predchádzajúceho systému Beidou-1, ale jeho princíp fungovania je rovnaký ako u GPS, GLONASS alebo u GALILEA. Plán počíta s pripojením viac ako 30 družíc k niekoľkým už obiehajúcim nad Čínou. Presnosť určenia polohy je projektovaná na 10 metrov. Pokrytie Ásie navigačným systémom pre určenie polohy

malo byť ukončené v roku 2009, s celosvetovou prevádzkou sa počíta od roku 2012 (Trimble 2007).

1.3. Rozširujúce systémy – Lokálne satelitné systémy



Obr. č. 1 pokrytie niektorými systémami SBAS

Pre spresnenie polohy pomocou GPS existujú dva spôsoby. Užívateľ to môže urobiť buď pomocou korekcie získanej z referenčných staníc na Zemi (vid'. DGPS, LAAS) alebo pomocou korekcie získanej zo satelitu na geostacionárnej dráhe (vid'. WAAS, EGNOS).

Anglický názov je Satellite-Based Augmentation Systems (SBAS) a označuje satelitné systémy vyvinuté v niektorých regiónoch sveta na podporu letectva (obr. č. 1). Rôzne SBAS sú v podobnom prevedení. Každý poskytuje veľmi podobné GPS signály a GPS korekcie pre zlepšenie presnosti pozície (o jeden až dva metre horizontálne a o dva až štyri metre vertikálne) a času (Kaplan, Hegarty 2006).

1.3.1. WAAS



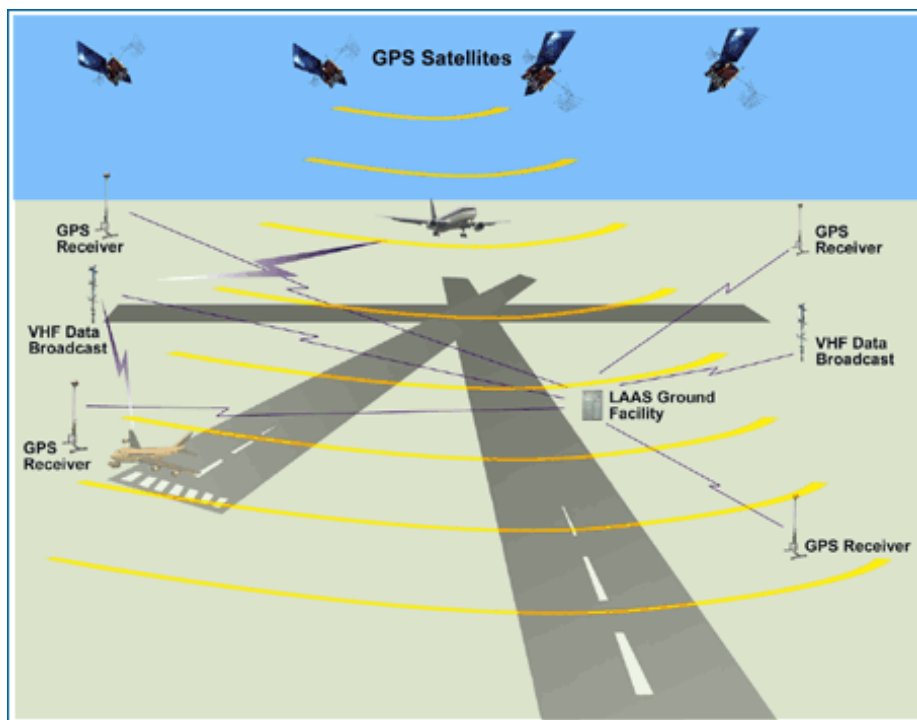
WAAS (Wide Area Augmentation System) je vybudovaný pre potreby letectva na území USA a prvé civilné využitie tohto systému sa datuje k roku 2003. Systém sa skladá z dvoch častí: z referenčnej stanice a z geostacionárneho satelitu. Na území USA je 29 referenčných staníc (Wide-area Reference Stations – WRS), ktoré získavajú dáta z GPS NAVSTAR. Namerané dáta sa posielajú do dvoch riadiacich centier (Wide-area Master Stations – WMS) na spracovanie. Upravené dáta sa následne posielajú do dvoch geostacionárnych družíc typu Inmarsat III (Pacific Ocean Region – POR, Atlantic Ocean Region-West), ktoré vysielajú informácie o korekciách GPS.

Presnosť určovania polohy je závislá na počte satelitov tvz. na množstve zakrytého obzoru. WAAS by mal umožniť mimo iného skrátenie trvania letu a vďaka presnejšej navigácii i skrátenie minimálnej vzdialenosti medzi lietadlami a tým aj intenzívnejšie využívanie najfrekvencovanejších trás.

1.3.2. LAAS

LAAS (Local Area Augmentation System) bude pracovať podobne ako WAAS, ale v oveľa menšom rozsahu. Systém má lokálne obmedzenie, vždy pracuje len pre dané letisko, ale veľkou výhodou je, že funguje za každého počasia. LAAS je upresňujúci systém, ktorý vylepšuje údaje získané z napr. GPS, tiež rieši problémy, ktoré sa vyskytujú v letectve (vysoká rýchlosť). Poskytne nám ešte vyššiu úroveň integrity, ktorá je potrebná pre automatické pristátie lietadla.

Fungovanie systému je založené na tom, že až desiatky kilometrov v okolí letiska sú rozmiestnené lokálne prijímače, ktoré získavajú dáta a posielajú do centrality letiska. Spracované informácie o korekciách pozície sa vysielajú prijímaču na palube lietadla, ktorý tak upresní signál prijatý z GPS.



Obr. č. 2 architektúra systému LAAS

1.3.3. EGNOS



EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) je aplikácia systému SBAS (Satellite Based Augmentation System), ktorý dopĺňa a vylepšuje vlastnosti GPS v Európe. Považuje sa za predstupeň pre systém Galileo a má slúžiť pre potreby všetkých fáz letu až po priblíženie sa k letisku. Prevádzkovateľom EGNOS-u bol ESA pomocou 40 pozemných monitorovacích staníc a niekoľko geostacionárnych družíc komerčných subjektov.

V apríli roku 2009 bolo vlastníctvo systému EGNOS prevedené z Európskej kozmickej agentúry na Európsku komisiu a oficiálne bol systém spustený 1. októbra 2009.

Stanice sú rozmiestnené po Európe a neustále monitorujú dáta vysielané satelitmi GPS NAVSTAR a GLONASS. Výsledok monitorovania je priebežne posielať zabezpečenou dátovou sieťou do jedného z riadiacích centier MCC (Master Control Centre). Tam sa dáta upravujú a vyhodnocujú sa informácie o stave družíc GPS (presnosť atómových hodín, odchýlky od dráhy pohybu, výpadky...) a o chybách merania zavinených stavom zemskej ionosféry (= hlavná príčina chýb merania). Potom pomocou vysielacích staníc sú dáta poslané satelitom na geostacionárnych obežných dráhach, takže nad rovník. Tieto satelity vracajú dáta naspäť k Zemi, kde prijímač tieto dáta načíta a koriguje podľa nich údaje prijaté zo satelitov GPS. V praxi by mala byť chyba aspoň v 99 % merania menšia ako 1,5 metrov. EGNOS je prvým dokončeným projektom EÚ v oblasti satelitnej navigácie. (Kaplan, Hegarty 2006)

1.3.4. Ďalšie významné systémy

MSAS - Multi-functional Satellite Augmentation System, je japonský rozširujúci satelitný systém.

GAGAN - GPS Aided Geo Augmented Navigation alebo GPS and Geo Augmented Navigation, je navigačný systém chystaný indickou vládou. GAGAN by mal byť dokončený v máji 2011.

1.4. Vývoj systému GPS

Koncept vývoja satelitnej navigácie rozvíjali americké vzdušné sily a námorníctvo od začiatku šesdesiatych rokov. Systém bol vyvíjaný najmä pre vojenské účely, ale americký kongres neskôr schválil jeho využitie s určitými obmedzeniami aj pre civilný sektor. V roku 1973 došlo k spojeniu programov Timotion a 621B do jedného programu pod názvom NAVSTAR-GPS.

Prvá fáza (skúšobná a testovacia) prebiehala v rokoch 1973-1979. V tomto období prebiehali konkurzy na dodávateľa družíc a osobných užívateľských zariadení. Prvú družicu vyrobila firma Rockwell a v roku 1978 bola vynesená na obežnú dráhu. Ďalej prebiehalo testovanie funkčnosti a trojrozmerná navigácia v arizónskej oblasti. V druhej fáze v rokoch 1979-1985 boli vybudované hlavné riadiace strediská a firma Rockwell bola vybraná pre realizáciu zakázky 28 družíc druhej generácie. V tretej fáze boli postupne nahradzované staré družice novými satelitmi druhej generácie. Požadovaná trojrozmerná globálna navigácia je dostupná od začiatku roku 1993. Neskôr bolo navrhnuté zlepšenie doterajších družíc, ich výsledkom bolo zlepšenie komunikácie a zvýšenie trvania autonómnej činnosti na 180 dní. Všetky požadované funkcie boli splnené 3. 3. 1994 a celý systém bol vyhlásený za schopný prevádzky.

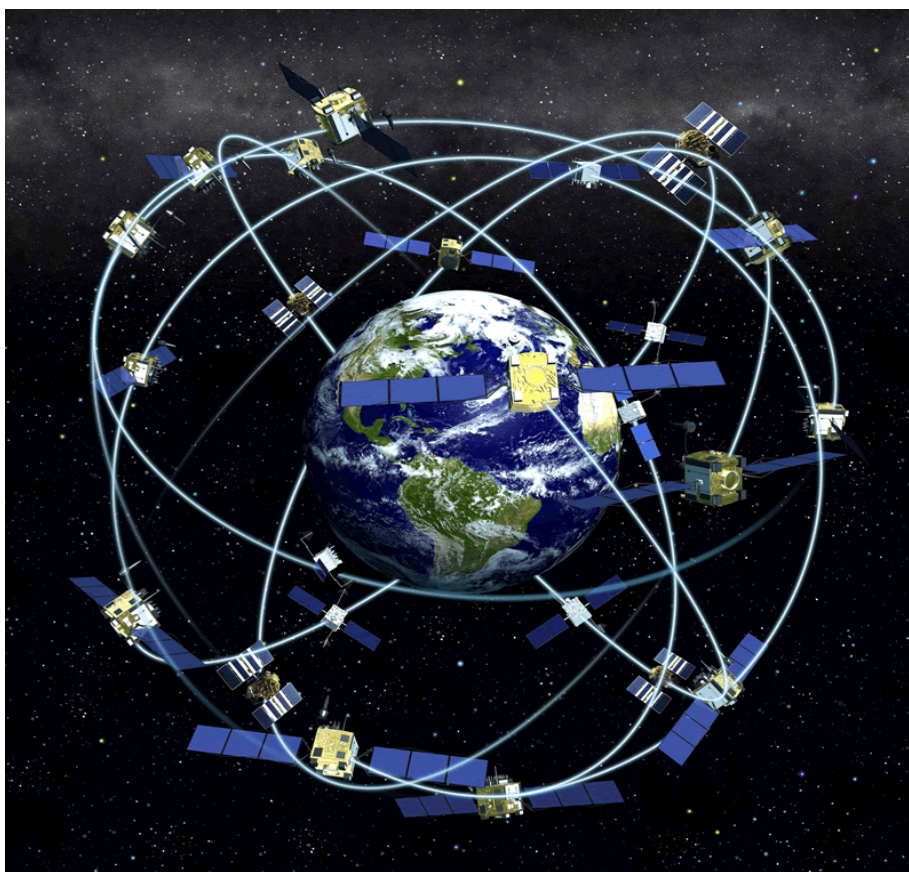
Dnes je systém GPS chápaný ako najlepší štandard ako pre civilné, tak aj pre vojenské účely. Dnes sa s týmto systémom môžeme stretnúť pri najrôznejších úlohách, ako je osobná navigácia automobilov v mestách, navigácia v oceánskej plavbe a kdekoľvek inde, kde je treba určiť presnú polohu na povrchu Zeme. V blízkej budúcnosti sa počíta s pridaním ďalších kanálov pre civilné letectvo a zároveň dvoch nových signálov pre armádné účely.

1.5. Princíp fungovania GPS

Systém GPS je tvorený troma hlavnými segmentmi: kozmickou, riadiacou a užívateľskou.

1.5.1. Kozmický segment

Kozmický segment GPS predstavuje družice umiestnené na šiestich kruhových dráhach so sklonom (inklináciou) 55° k rovine rovníku, vzdialené cca 20 190 km od povrchu Zeme a pohybujúce sa rýchlosťou $11\,300\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (obr. č. 3). Za jeden hviezdny deň uskutoční každá družica dva obehy okolo Zeme (jeden obeh trvá 11 h 58 min), preto je ďalší deň na rovnakom mieste obežnej dráhy vždy o 4 minúty skôr. Každá zo šiestich dráh má päť pozícií pre umiestnenie družíc, z čoho vyplýva, že za súčasnú konfiguráciu je maximálny možný počet družíc GPS na obežnej dráhe rovný počtu tridsiatich kusov. Pozícia č. 5 je u každej dráhy záložný pre dosiahnutie FOC postačuje 24 funkčných družíc. (Kaplan, Hegarty 2006)

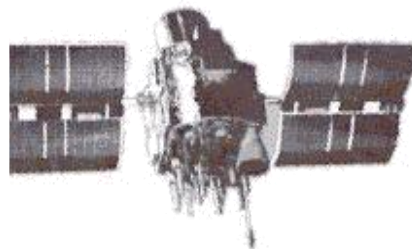


Obr. č. 3 obežné dráhy družíc GPS

Typy družíc

a) Družice bloku I

Družíc tohto typu bolo v rokoch 1978 až 1985 vyrobených firmou Rockwell International 11 kusov, z toho jedna bola zničená pri neúspešnom štarte. Inklinácia dráhy týchto družíc bola 63° . Na každej družici bola trojica atómových hodín – jedna s cesiovým a dvojce s rubidiovým štandardom. Plánovaná životnosť bola 4,5 roka. Posledná družica Bloku I bola vyradená z aktívnej služby v novembri 1995.



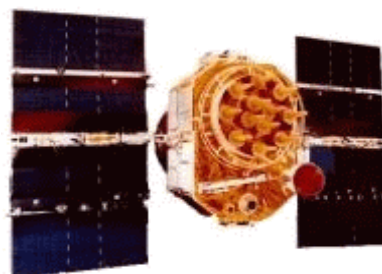
b) Družice bloku II

Družice tohto typu boli vyrobené v rokoch 1989 až 1990 tiež firmou Rockwell Int. Bolo ich vypustených 9 kusov. Oproti družiciam Bloku I majú zlepšené odtienenie pred kozmickým žiarením, obežnú dráhu so sklonom 55° k rovine rovníka a sú tiež prvými družicami GPS, ktoré sú vybavené prístrojom na detekciu jadrových explózií. Navyše dokážu fungovať 14 dní bez nutnosti korekcií z pozemského riadiaceho strediska. Na palube nesú 4 atómové hodiny. Dvojce s cesiovým a dvojce s rubidiovým štandardom. Plánovaná životnosť je 7,3 roka, napriek tomu 2 z nich stále fungujú.

c) Družice bloku IIA

Ďalším typom sú družice bloku IIA, vyrobené v rokoch 1990 až 1997. S blokom II majú spoločného výrobcu, rovnaké vybavenie, aj rovnakú životnosť, ale dokážu samostatne pracovať bez nutnosti zásahov z pozemského riadiaceho strediska po dobu 180 dní.

Niektoré na palube nesú i laserový reflektor, ktorý umožňuje veľmi presné zameranie polohy družice pomocou laserového lúča vyslaného zo Zeme. Z devätnástich družíc vyrobených a vynesných na obežnú dráhu je ich dnes v prevádzke 16.



d) Družice bloku IIR

Najmodernejší typ družíc GPS vyrobený firmou Lockheed Martin v súčasnosti umiestnených na obežnej dráhe predstavuje Blok IIR. Výroba začala v roku 1997 a posledná družica tohto typu bola vypustená 6. novembra 2004. Plánovaná životnosť majú 10 rokov a inklináciu dráhy 55° . Atómové hodiny sú v družici troje, všetky s rubidiovým štandardom. Najdôležitejšia je ale schopnosť samostatného fungovania družice bez zásahu z pozemského riadiaceho strediska viac ako 180 dní. Družice Bloku IIR spolu dokážu komunikovať, sledovať svoje pozície a korigovať svoje dráhy.



e) Družice bloku IIR-M

Takmer identické s blokom IIR, ale zvyšujú výkon existujúcich vysielaných signálov a rozširujú ich spektrum o vojenský M kód (na frekvenciách L1 a L2) a civilný C kód na frekvencii L2. Prvá družica tohto typu bola vypustená v roku 2005 a posledná v roku 2009. Z 8 vypustených je 7 aktívnych.

f) Družice bloku IIF

Družice sú, alebo budú vyslané v rokoch 2010-2012 súčasný stav je 1 vypustená a 11 v príprave (marec 2011). Vysielané budú všetky predchádzajúce signály a ešte k tomu zavedú novú civilnú frekvenciu L5. Okrem dvojice analógových atómových hodín s rubidiovým frekvenčným štandardom budú mať ako prvé družice GPS na palube aj dvojicu digitálne atómové hodiny - oboje s cesiovým štandardom. Sú vyvíjané firmou Boeing a ich plánovaná životnosť je 15 rokov.



g) Družice bloku III

Prvá časť družíc bloku III by mala byť vypustená v roku 2014 v počte 8 družíc bloku IIIa, ďalej 8-12 družíc bloku IIIb a 16 družíc bloku IIIc. Družice by mali priniesť významné zvýšenie sily vojenského M-kódu, čo by malo zvýšiť odolnosť voči rušeniu signálu a zvýšenie počtu civilných signálov.

Snaha prevádzkovateľa GPS je do roku 2019 mať na obežnej dráhe 19 družíc bloku III a zvýšiť tým presnosť navigácie systému pod 1 meter.



Družice prijímajú a spracovávajú informácie z riadiaceho centra a podľa nich vysielajú signály používateľom. (Pisca 2005)

Pre určenie dvojrozmernej polohy (najčastejšie zemepisná dĺžka a šírka) postačí príjem signálu z min. troch družíc, pre určenie trojrozmernej polohy (ešte výška) minimálne zo štyroch družíc. Príjem menšieho počtu družíc znemožňuje výpočet polohy, vyšší počet družíc naopak určenie polohy ďalej spresňuje. Z každého miesta na Zemi je viditeľných 6 družíc.

Družice vysielajú signál, ktorý nesie informáciu o polohe družice a čase odoslania správy. Navigačné signály družice sa vysielajú na frekvenciách $L1 = 1\,575,42\text{ MHz}$ a $L2 = 1\,227,6\text{ MHz}$. (Kaplan, Hegarty 2006)

Družica neustále otáča svoje solárne panely k Slnku a ich vysielacie a prijímacie antény k Zemi. Každá z družíc má niekoľko vlastných atómových hodín (3 až 4), aby si udržali veľmi presný čas (až do biliontín sekúnd). Družica nesie tiež počítač, systém pre vysielanie rádiových vln, solárne panely, batérie, pohonný systém riadiaci pohyby družice a rôzne iné súčasti. Neustále sa zlepšuje dostupnosť systému pre civilné použitie, jeho bezpečnosť a odolnosť voči úmyselnému rušeniu pre vojenské účely, spoľahlivosť a presnosť. (Trimble 2007)

1.5.2. Riadiaci segment

Riadiaci segment pozostáva z 12 pozemských staníc, ich umiestnenie je vidieť na *obr. č. 4*. Skladá sa z monitorovacích staníc, pozemských vysielacích staníc a hlavného riadiaceho strediska (MCS – master controll station) a zodpovedá za nepretržitú činnosť globálneho polohového systému.

Monitorovacie stanice sú umiestnené rovnomerne po obvodě Zeme, väčšinou blízko rovníka. Nachádzajú sa na Havajských ostrovoch, na atole Kwajalein na Marshallových ostrovoch v západnom Tichomorí, na ostrove Ascension v strednom Atlantiku, na ostrove Diego Garcia uprostred Indického oceánu a v Colorado Springs v USA. Pozemské vysielacie sú umiestnené na ostrovoch Ascension, Diego Garcia, na atole Kwajalein a na Havaji. Hlavné riadiace stredisko sídli na Schrieverovej leteckej základni v Colorado Springs v Colorade.



Obr. č. 4 umiestnenie jednotlivých monitorovacích staníc

Úlohou monitorovacích staníc je sledovanie navigačných signálov družíc a spojité meranie pseudovzdialeností medzi ich okamžitými polohami a polohami monitorovacích staníc. Tieto stanice nepretržite posielajú dáta na spracovanie do hlavného riadiaceho centra, ktoré prepočítava dráhové elementy a korekciu palubných hodín všetkých družíc. Aby sa udržala presnosť systému, posiela tieto aktualizované údaje o predikciách obežných dráh a času pozemským vysielacím staniciam, z nich každá družica trikrát denne korekcie prijíma. Odovzdáva ich potom používateľom v podobe navigačných správ (efemeridy). Pozemské stanice tiež vysielajú družiciam príkazy za účelom pravidelnej údržby, aktualizácie softvéru a na úpravu obežných dráh. Každá družica je vždy v dohľade najmenej dvoch, zvyčajne troch pozemských staníc. (Kaplan, Hegarty 2006)

1.5.3. Užívateľský segment

Všetky GPS prijímače majú podobné hlavné funkcie: zber dát vysielaných družicami, meranie signálov, počítanie pozície, rýchlosti a času (PVT - position, velocity, time). Vysielač a rádiový prijímač zbiera a zosilňuje prichádzajúce veľmi slabé GPS rádiové signály (Trimble 2007).

Užívateľský segment je tvorený GPS prijímačmi, samotnými užívateľmi, vyhodnocovacími nástrojmi a postupmi potrebnými k vyhodnoteniu meraní. GPS prijímače vykonávajú na základe prijatých signálov z družíc predbežné výpočty polohy, rýchlosti a času. Pre výpočet všetkých štyroch súradníc je potrebné prijímať signály aspoň zo štyroch družíc. Prijímače sa delia na jednakanálové a viackanálové. Jednakanálové prijímače sú vybavené len jedným vstupným kanálom, takže pri sledovaní viacerých družíc musia postupne prepínať tento vstupný kanál na jednotlivé družice. Viackanálové prijímače majú dostatočný počet vstupných kanálov, aby mohli súčasne sledovať všetky dostupné družice a tým zvyšovať presnosť výpočtu. Jednou zo základných úloh GPS je navigácia v trojrozmernom priestore.

Globálny polohový systém má dvojaké využitie. To znamená, že je určený ako pre používateľa vojenského sektoru, tak aj pre potreby civilných subjektov. Vojenský sektor využíva špeciálne schopnosti systému. Má k dispozícii veľmi odlišný zoznam prostriedkov na rozdiel od ostatných používateľov, ktorým GPS v každodenných činnostiach obyčajne postačí na meranie polohy a času. Pre odlíšenie civilného sektoru od vojenského boli definované dve služby pre určovanie polohy. PPS (Precise Positioning Service) sprístupňuje všetky schopnosti GPS len vojenským prijímačom, SPS (Standard Positioning Service) je štandardná trieda presnosti dostupná každému. (Kaplan, Hegarty 2006)

GPS prijímače vykonávajú na základe prijatých signálov z družíc predbežné výpočty polohy, rýchlosti a času. Pre výpočet všetkých štyroch súradníc (x, y, z, t) je potrebné prijímať signál aspoň zo štyroch družíc. Tieto prijímače sú používané k navigácii, určovaniu polohy, meračstvu, stanoveniu presného času ale i k iným účelom (Sedlák 2001, 2003).

Typy GPS prijímačov:

Prijímače je možné rozdeliť do skupín podľa rôznych kritérií:

a) Podľa spôsobu použitia rozlišujeme GPS prijímače:

- Letecké
- Ručné
- Časovacie
- Lodné
- Mapovacie
- OEM moduly
- Kozmické
- Meracie
- PC karty

b) Podľa spôsobu merania rozdeľujeme GPS prístroje do dvoch skupín:

1.) Prístroje založené na sledovaní PRN kódu

- do tejto skupiny patria predovšetkým prístroje pre navigačné účely.

2.) Prístroje založené na fázovom meraní

- tieto prístroje sú určené predovšetkým pre geodetické merania

➤ Prístroje GPS pre fázové merania ešte môžu byť:

1. Jednofrekvenčné – pracujú iba s frekvenciou L1. Vo všeobecnosti možno povedať, že sú menej presné a majú len C/A-kód.
2. Dvojfrekvenčné – pracujú aj s frekvenciou L2. Je ich nutné používať pre väčšie vzdialenosti.

c) Podľa počtu súčasne sledovaných družíc delíme GPS prijímače na:

1.) Jednokanálové

- sú vybavené jedným vstupným kanálom, takže pri sledovaní viacero družíc musí postupne prepínať tento vstupný kanál na jednotlivé družice.

2.) Viackanálové

- majú dostatočný počet vstupných kanálov (5, 6 a viac), aby mohli súčasne sledovať všetky dostupné družice.

3.) Hybridné

- predstavujú určitý medzistupeň medzi oboma vyššie spomenutými prijímačmi, kde prijímač je vybavený viacerými vstupnými kanálmi (2, 3), ale ich počet je nedostačujúci pre sledovanie všetkých dostupných družíc (Sedlák, 2009).

Následujúce obrázky predstavujú rôzne dnes používané GPS prístroje:



1.6. Princíp merania GPS

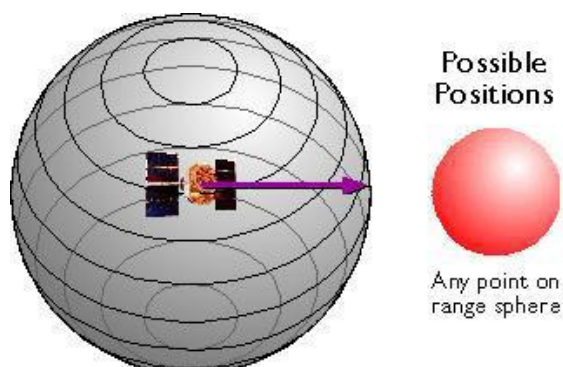
GPS je projekt, ktorý umožňuje komukoľvek na povrchu planéty Zeme zistiť svoje zemepisné súradnice. K svojej funkcii využíva niekoľko špecializovaných družíc, ktoré zo svojich obežných dráh vysielajú smerom k Zemi signály v podobe elektromagnetických vln. Signál sa (vo vákuu) šíri rýchlosťou cca 300 000 km / s (cca rýchlosť svetla). Družice sú nastavené tak, že všetky vyšlú signál v presne definovaný okamih.

Prijímač umiestnený na Zemi vypočíta svoju pozíciu na základe toho, s akým oneskorením prijme signál z jednotlivých družíc. Keď prijme signál, tak nevieme, ako dlho mu trvalo, než k nám dorazil. Poznáme iba časové rozdiely, táto koncepcia sa často označuje skratkou TDOA (Time Difference of Arrival). Na určenie neznámej polohy v 3D priestore je nutné zistiť vzdialenosti (d) od troch známych bodov - družíc. Rovnica pre výpočet:

$$D = c \times (T_s - T_r)$$

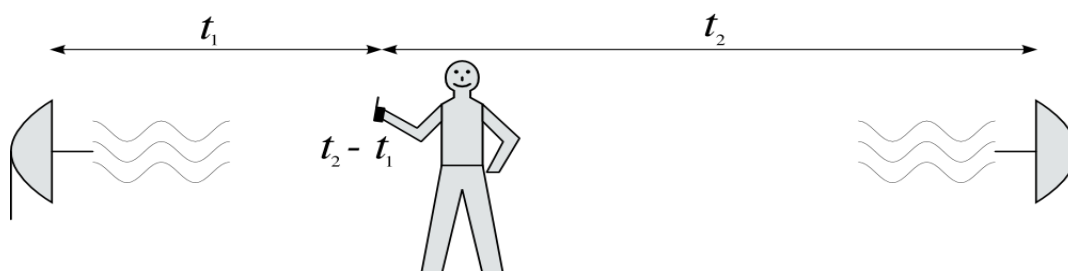
Pozície družíc sú známe v každom čase, pretože všetky orbity sú monitorované a kontrolované pozemskými stanicami kontrolného segmentu. Čas potrebný na cestu signálu zo satelitu k prijímaču je určený rozdielom medzi odoslaním signálu družicou (T_s) a jeho zachytením prijímačom (T_r), ktorý obsahuje vlastné hodiny. Len malý rozdiel v presnosti hodín spôsobí vo výpočte vzdialenosti významnú chybu. To vyžaduje extrémnu presnosť hodín ako na palube družíc, tak v prijímačoch (Li et. Al. 2005).

Informácie o meraní jednej družice oznamujú, že umiestnenie prijímača sa nachádza niekde na povrchu guľovej plochy s polomerom vzdialenosti družice od Zeme (obr. č. 5).



Obr. č. 5 výsledky merania jednej družice

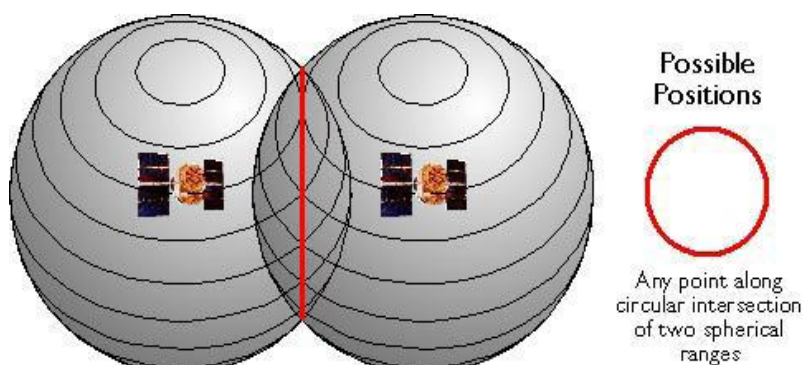
Predstavme si situáciu, keď užívateľ drží v ruke prijímač, ktorý zaznamená signály z dvoch zdrojov s časovým rozdielom $\Delta t = t_2 - t_1$. Rýchlosť šírenia signálu poznáme a tak môžeme ľahko vypočítať pozíciu prijímača vzhľadom k vysielačom. Predpokladali sme však, že vysielač aj prijímač sa nachádzajú na jednej priamke (obr. č. 6).



Obr. č. 6 výsledky merania dvoch vysielačov na jednej priamke

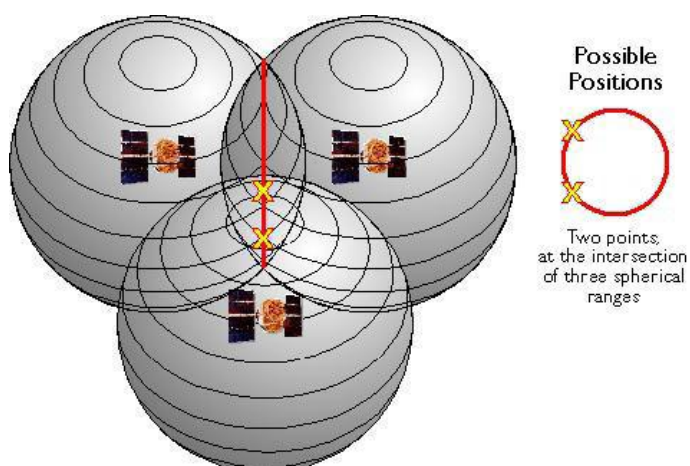
Zložitejšia situácia nastane, keď uvažíme, že sa prijímač môže nachádzať kdekoľvek v rovine. V takomto prípade už nie je možné jednoznačne určiť pozíciu. Pri meraní vzdialenosti od

druhej družice sa obmedzí umiestnenie na kruh bodov v mieste prieniku oboch guľových plôch (obr. č. 7).



Obr. č. 7 výsledky merania dvoch družíc

Na stanovenie polohy potrebujeme ešte jeden vysielač. Ak sú vysielače tri, potom získame tri časové rozdiely ($t_2 - t_1$, $t_3 - t_2$ a $t_3 - t_1$) z ktorých iba dva sú nezávislé, teda z ľubovoľných dvoch je možné vypočítať zostávajúcu tretiu. Dva časové rozdiely určujú dve hyperboly a my vieme, že sa vysielač súčasne nachádza na oboch hyperbolách. Priesečník týchto hyperbol teda jednoznačne určuje polohu prijímača. Po určení vzdialenosti k tretej družici je umiestnenie prijímača lokalizované do jedného z dvoch bodov, kde sa pretínajú všetky tri guľové plochy (obr. č. 8).

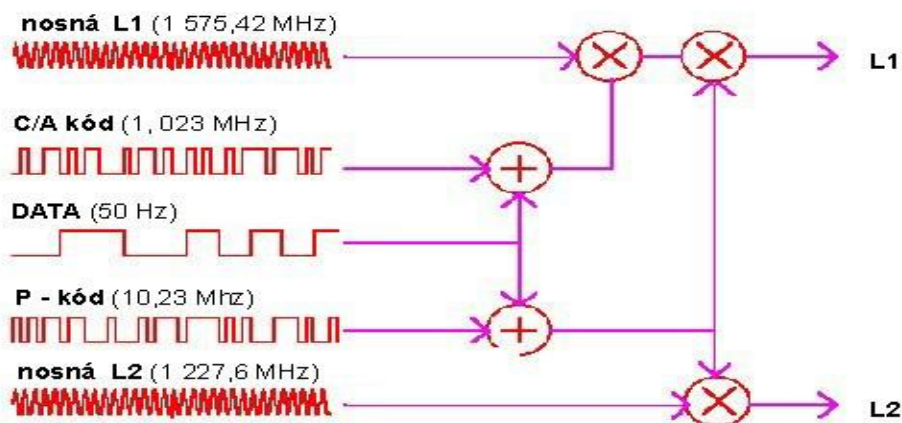


Obr. č. 8 výsledky merania troch družíc

Takže minimálne tri družice sú potrebné pre určenie polohy v dvojrozmernom (horizontálnom) priestore. Najdôležitejší záver vyplývajúci z celého rozboru je to, že v trojrozmernom priestore potrebujeme štyri družice. Vďaka nim možno stanoviť všetky tri súradnice bodu v priestore, teda zemepisnú dĺžku, zemepisnú šírku a nadmorskú výšku. Pre úplnosť je treba podotknúť, že existuje aj dvojrozmerný mód GPS prijímačov, ktorý sa aktivuje vo chvíli, keď je k dispozícii signál iba z troch družíc. (Li et. Al. 2005)

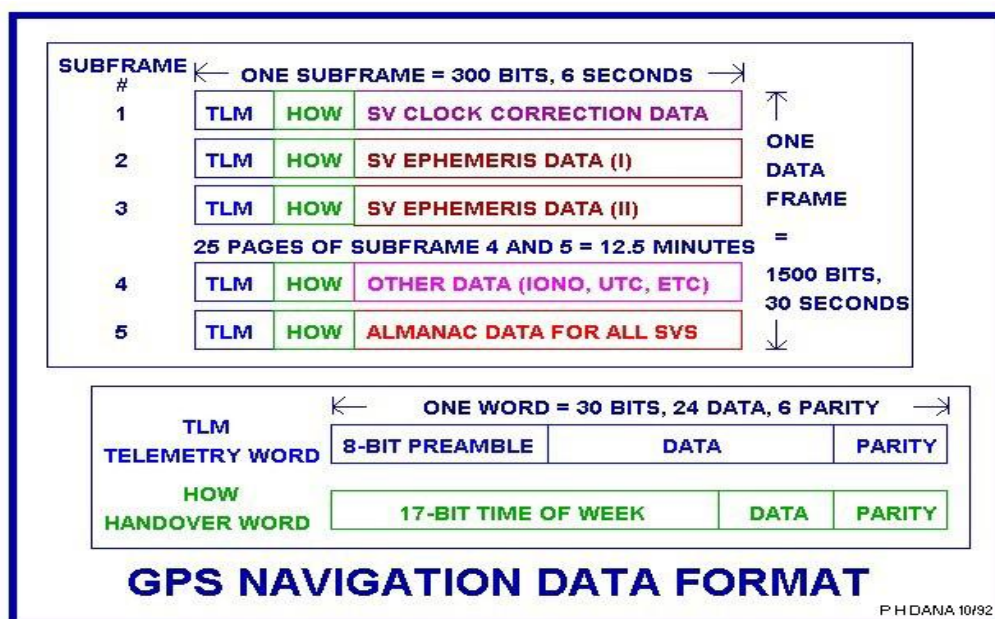
1.7. Technické údaje o systéme

Signály GPS družíc sú vysielané na dvoch nosných frekvenciách: L1 (1575,42 MHz, vlnová dĺžka 19 cm) - štandardný polohový systém, ďalej L2 (1227,60 MHz, vlnová dĺžka 24 cm) - presný polohový systém. Frekvencie sú modulované týmito navigačnými kódmi: L1 je modulovaná dvoma pseudonáhodnými šumami (PRN - Pseudo Random Noise). Hrubý/dostupný (C/A - Coarse/Acquisitions code) je určený pre civilné prijímače a má frekvenciu 1,023 MHz. Do tohto kódu je umelo vnášaná chyba v dôsledku opatrenia označovaného ako selektívny prístup (SA - Selective Availability). L2 je modulovaná jedným šifrovaným kódom. Y-code je určený len pre vojenské prijímače. Je to vlastne šifrovaný Precision code bez umelej nepresnosti (obr. č. 9).



Obr. č. 9 Modulácie signálu GPS na dve nosné frekvencie L1 a L2

Signál ako správa zo systému GPS sa delí celkovo na 25 rámcov s celkovou dobou trvania 12,5 min. Jeden rámec o celkovej dĺžke 1500 bitov (30 sekúnd) sa skladá z piatich subrámcov dĺžky 300 bitov. Údaje sa vysielajú frekvenciou 50Hz, moduláciou presunutú na nosnú vlnu patričnej frekvencie.



Obr. č. 10 Zloženie dátových rámcov v signálu GPS

Dáta obsahujú:

- údaje o hodinách na družici a ich vzťahu k referenčnému času systému GPS
- údaje o polohe družice a korekcie dáta z riadiaceho systému
- almanach – približné dáta o dráhe družice

1.7.1. Meračské technológie GPS

Metódy merania (pozorovania) technológiu GPS delia na dve základné skupiny (Sedlák 2003):

- statické
- dynamické

Použitie meračských postupov s GPS závisí od prijímačov a ich funkčných možností, od možnosti merania veličín, akými sú pseudovzdialenosti, fáza a pod., ďalej od času a od požadovanej presnosti. Najpoužívanejšie sú nasledujúce metódy:

Skupina A, tieto metódy monitorovania umožňujú určiť polohy určovaných bodov až následným spracovaním meraných veličín (pseudovzdialeností) pomocou príslušných software.

1A.) Statická metóda

Statická metóda GPS pomocou fázových meraní patrí k metódam, ktoré sú v súčasnej dobe najviac využívané a vedie k najpresnejším výsledkom. Táto metóda je založená na veľmi jednoduchom princípe, pri ktorom je GPS prijímač umiestnený na referenčnom bode (známom) a ostatné na pozorovacích (určovaných) bodoch. Pri tejto metóde GPS aparatury prijímajú signály aspoň zo štyroch družíc (Sedlák 1997, 2001, 2003).

S cieľom získať presné výsledky je doba merania 45 až 60 min. Základnou a prakticky jedinou podmienkou je, aby vo výške 15° až 20° nad horizontom neboli žiadne prekážky, ktoré by bránili príjmu priamočiara sa šíriacemu družicovému signálu.

2A.) Kinematická metóda

Kinematická metóda GPS určuje priestorový vektor od známeho bodu k určovaným s presnosťou takmer rovnakou ako pri statickej metóde. Princíp merania je obdobný statickej metóde s nutnosťou inicializácie merania (Sedlák 1997, 2001, 2003).

Nevýhodou kinematickej metódy je nutnosť neustáleho kontaktu družice s prijímačom (i počas presunu medzi jednotlivými určovanými bodmi). Vo vhodnom teréne je táto metóda najrýchlejšia a pritom takmer rovnako presná ako ostatné metódy. Za jednu hodinu je možné kinematickou metódou zmerať 20 až 25 bodov.

3A.) Pseudokinematická metóda

Pseudokinematická metóda GPS, niekedy označovaná aj ako pseudostatická metóda, je kompromisom medzi statickou a kinematickou metódou. Používa sa v nepriaznivom teréne, kde pri prechode medzi jednotlivými bodmi nie je možné udržiavať príjem z družíc. Je rovnako presná ako statická metóda, no vyžaduje kratší čas merania na jednom bode: 5-10 minút. Oproti kinematickej metóde táto nevyžaduje stály príjem z družíc (Sedlák 1997, 2001, 2003).

Zber meraných dát je potrebný z minimálne štyroch družíc. V priebehu presunu nie je potrebné spojenie prijímačov s družicami. Nevýhodou je potreba opakovania pozorovaní na tom istom bode. Preto je táto technológia vhodná pre relatívne malé oblasti.

4A.) Rýchla statická metóda

Postup merania je v zásade podobný statickej metóde, avšak pri výrazne skrátenom čase merania. Záleží však od geometrie a počtu družíc, ako aj od dĺžky meraného priestorového vektora. Prednosťou tohto spôsobu merania je, že nevyžaduje neprerušovaný príjem signálu medzi meraniami jednotlivých bodov a stačí jedno postavenie prijímača na bode. Pomocou štyroch družíc doba pozorovania je 20 min. a viac, keď máme k dispozícii 5 družíc tak 10-20 min. a keď šesť tak sa doba skráti na 5-10 minút. Podmienkou pozorovania sú dvojfrekvenčné GPS prijímače vybavené P-kódom na druhej frekvencii L2 a výhodná konfigurácia družíc (5-6 družíc s výškou 15° nad horizontom) a rovnako musia mať nainštalované príslušné programové vybavenie.

5A.) STOP and GO metóda

STOP and GO metóda má názov aj ako polokinematická metóda. Princíp je obdobný ako u predošlých dvoch metód. Metóda spočíva v postupnom pozorovaní všetkých bodov jedným GPS prístrojom, kým referenčný prístroj zostáva stále na východiskovom bode. Doba pozorovania je 1 až 2 minúty bez nutnosti opakovania merania. Vyžadovaná je inicializácia merania a znalosť x, y, z východzej základne. Vyžaduje sa nepretržité napojenie prijímačov na minimálne štyri družice po celú dobu merania i v priebehu presunu. V prípade straty signálu je metóda nepoužiteľná (Sedlák 1997, 2001, 2003). Metóda prichádza do úvahy jedine v otvorenom teréne bez prekážok, ktoré môžu zatieniť príjem signálov.

6A.) Kontinuálna metóda

Pri kontinuálnej metóde jeden prijímač je na referenčnom bode a druhý, resp. ostatné prijímače sú v nepretržitom pohybe bez možnosti zastavenia sa nad určenými bodmi. Tie tvoria body trajektórie pohybu prijímača GPS danej epochami záznamu (napr. každú sekundu). Metóda si vyžaduje inicializáciu merania a nepretržité sledovanie minimálne štyroch družíc. Doba pozorovania je závislá na epoche záznamu (Sedlák 2003).

Skupina B, nasledujúce metódy GPS umožňujú určiť 3D polohu in situ (priamo v teréne).

1B.) RTK metóda

RTK (Real Time Kinematic Method – určovanie polohy v reálnom čase) metóda je v podstate kinematická metóda určovania polohy v reálnom čase. To znamená, že GPS prijímač na určovanom bode musí byť nejakým komunikačným kanálom priamo napojený na referenčnú stanicu. Princíp je podobný predošlým metódam, avšak táto metóda spadá svojím princípom do kinematickej, kedy ide o neprerušený kontakt počas transportu. Jeden prijímač je na referenčnom bode, druhý sa pohybuje po určených bodoch. Významnou prednosťou je, že sú k dispozícii okamžité výsledky merania a tým je známa i presnosť, s ktorou sa určujú výsledky merania na daných bodoch. Metóda vyžaduje inicializáciu merania a neustále sledovanie minimálne štyroch družíc a musí byť vybavená softwarom a PC aparatúrou.

Táto metóda výrazne šetrí čas, lebo nevyžaduje následné spracovanie dát (postprocessing). Ak sa stratí rádiový kontakt, prijímač signalizuje kódové polohy a po obnovení spojenia sú opäť vysielané presné fázové korekcie.

2B.) OTF metóda (ON THE FLY method)

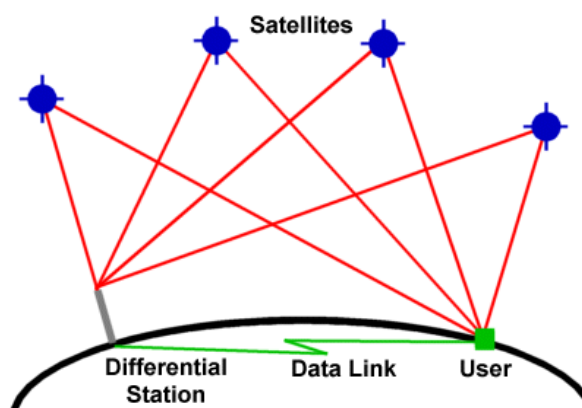
ON THE FLY metóda GPS je kinematická metóda, ktorá umožňuje okamžité riešenie ambiguit¹ v pohybe. Má veľmi vysoké nároky na hardwarovú a softwarovú podporu a vyžaduje vhodný výpočtový software pre rýchle numerické riešenie ambiguity (Sedlák 1997, 2001, 2003).

¹ Neznáme veličiny pri relatívnom (fázovom) meraní, ktoré je nutné riešiť matematicky.

3B.) Diferenciálny GPS (DGPS)

Použitím diferenčnej (rozdielovej) metódy merania sa dosiahne významného zvýšenia presnosti určovania polohy v reálnom čase. Vychádzame pri tom z poznatku, že diferencie údajov meraných dvoma blízkymi GPS prijímačmi sú zaťažené podstatne menšími chybami ako samotné, namerané údaje. To je spôsobené vysokou koreláciou (vzájomnou závislosťou) chýb oboch meraní. Signál sa šíri od družice k obojm prijímačom po skoro rovnakej dráhe, preto ionosférické a troposférické oneskorenie signálu je zhruba rovnaké. Podobne sa prejavajú aj chyby efemerid družíc.

Meranie polohy pomocou DGPS je trochu zložitejšie ako pri GPS, pretože sú potrebné minimálne dva GPS prijímače. Jeden prijímač je umiestnený stacionárne na známej polohe, ktorá sa určila geodetickým meraním. Tento prijímač sa nazýva RS - referenčná stanica. Táto stanica neustále uskutočňuje merania ku všetkým viditeľným družiciam, zmerané pseudovzdialenosti porovnáva s predpokladanými hodnotami (údajmi o svojej polohe) a ich rozdiely vysielajú vlastným samostatným kanálom ku všetkým užívateľom DGPS. V prijímačoch ostatných DGPS užívateľov sa prijaté korekcie použijú k oprave merania a tak sa významne zvýši presnosť určenia ich polohy v reálnom čase. Korekčný údaj sa aktualizuje v intervale 1 až 15 sekúnd. Platnosť korekcií je v polomere 10 km centimetrová až decimetrová a v polomere 400 km je metrová.



Obr. č. 11 princíp DGPS

Presnosť merania:

- 25 až 10 m: lacné ručné GPS prijímače so základným vybavením pre DGPS
- 5 až 1 m: lepšie ručné GPS prijímače určené pre mapovanie
- 1 m až 1 cm: kvalitné GPS prijímače pre mapovanie a lacnejšie geodetické GPS prijímače
- 10 cm až sub-cm: vysoko kvalitné geodetické GPS prijímače, ktoré používajú fázové meranie obvykle s využitím oboch frekvencií (Sedlák 1997, 2001, 2003).

Diese differenziellen GPS-Methoden bieten sich an zur Fahrzeugnavigation, für Verkehrsleitsysteme, Rettungsdienste, Sicherheitsaufgaben, Land- und Forstwirtschaft, Umweltschutz, Wasserwirtschaft und für die Datenerfassung für Geoinformationssysteme (Klonowski 2009).

1.7.2. Presnosť merania a faktory ovplyvňujúce presnosť GPS

Určenie 3D polohy objektu/bodu pomocou GPS sa dá vysvetliť tak, že sa nachádza v priesečníku guľových plôch, ktorých polomer je daný meranými vzdialenosťami. K dosiahnutiu vysokej presnosti určenia polohy je teda dôležité, aby sme využívali čo najväčšieho počtu viditeľných družíc, ktoré musia byť vhodne rozložené na horizonte. Celý kozmický segment je navrhnutý tak, aby bolo vždy viditeľných najmenej 5 až 8 družíc (Leick 1995).

Uvedené metódy merania s GPS technikami poskytujú vysokú presnosť výstupných veličín. Výrobcovia veľmi presných geodetických GPS aparátúr udávajú presnosť v určení šikmej vzdialenosti $5 \div 10 \text{ mm} \pm (1 \div 5) \text{ ppm}$, v určení prevýšenia $10 \div 20 \text{ mm} \pm (1 \div 2) \text{ ppm}$ a v určení azymutu $1 \div 5''$ na 1 km vzdialenosť. Dosiahnutá presnosť je závislá od doby pozorovania, od rozloženia a počtu družíc nad horizontom a od použitého softwaru. Kvôli atmosférickým vplyvom nie je vhodné pozorovať družice, ktoré sú nižšie ako $10 \div 15^\circ$ nad horizontom (Sedlák 2001, 2003).

Presnosť polohy stanovená GPS sa môže pohybovať od 100 m do niekoľko mm v závislosti od použitého prístroja, spôsobu merania a spracovania výsledkov merania. V nasledujúcej tabuľke (tab. 1.7.2/1) je uvedený prehľad zdrojov chýb a ich veľkosť. Ako už bolo spomenuté tak vieme, že GPS bol vyvinutý ako vojenský navigačný systém a preto bolo už od začiatku rozhodnuté, že v ňom musí byť zabudovaný mechanizmus, ktorý neumožňuje jeho prístupenie neautorizovaným užívateľom.

Takéto mechanizmy boli vytvorené dva a nazývajú sa:

- Selektívna dostupnosť (Selective Availability – S/A)
- Anti-Spoofing (AS)

Zdroj chýb	Max. veľkosť chyby
Družicové hodiny	40 m
Efemeridy družíc	15 m
Obežná dráha	5 m
S/A	10 m
Vplyv ionosféry	12 m
Vplyv troposféry	3 m
PRN šum	1 m
Šum prijímača	2 m
Odrazené signály	2 m

Tab. 1.7.2/1 Zdroje a veľkosti chýb (Sedlák 2001, 2003)

Zámerné chyby

Zrušenie chyby S/A

S/A, alebo selektívnou dostupnosťou sa rozumie zámerné zavedenie chýb do GPS merania. A to buď zavedenou zámernou vopred definovanou chybou do efemeríd družíc, alebo zmenením nastavenia hodín na družiciach. Síce DGPS dostatočne rieši vplyv chyby S/A, ale nesie sebou zvyšovanie finančných nákladov a zbytočne komplikované merania.

S/A bolo zavedené a používané od 25. 3. 1990 a bolo najväčším zdrojom chyby pri kódovom meraní. Americký prezident B. Clinton oznámil 2. 5. 2000 vypnutie zámerného rušenia S/A. Presnosť navigačného GPS s S/A pre bežných užívateľov sa pohybovala v 95% prípadov do 100 m a v 60% prípadov do 30 m. Zrušením S/A klesli hodnoty na 1/3, čo je v 95% prípadov do 30 m a v 60% prípadov do 10 m (Sedlák 2001, 2003).

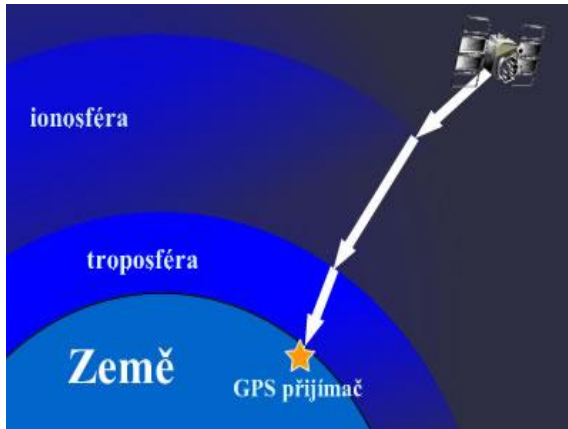
Anti-Spoofing (AS)

Aktivácia AS znamená, že je priebežne šifrovaný P-kód. K zníženiu presnosti dochádza v dôsledku tohto opatrenia preto, že v rámci civilných aplikácií GPS v podstate odpadne možnosť využitia P-kódu. V reálnom čase tak nemožno stanovovať oneskorenie signálu pri prechode ionosférou (Sedlák 2001, 2003).

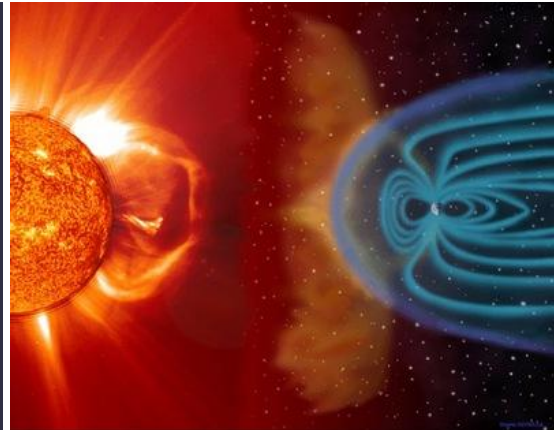
Ďalšie zdroje chýb

Vplyv ionosféry

Ionosférické oneskorenie je oneskorenie signálu pri jeho prechode ionosférou (signál má inú rýchlosť ako pri šírení vo vákuu). Ionosféra je vrstva atmosféry od výšky asi 50 km do výšky 1 000 km a obsahuje určité množstvo voľných elektricky nabitých častíc - elektrónov a iónov. Rýchlosť šírenia signálu ionosférou je závislá na počte voľných elektrónov, ktoré predstavujú premenlivý index lomu (obr. č. 12).



obr. č. 12 šírenie signálu atmosférou



obr. č. 13 slnečný vietor

Neočakávaná a nepravidelná slnečná aktivita môže spôsobovať chyby v satelitnej navigácii. A tá v miestach slabého príjmu signálu systému GPS, či ruského Glonass môže byť príčinou neočakávaných a nezanedbateľných chýb. Signály vysielané navigačnými družicami sú pomerne slabé a pri prechode ionosférou závisí ich rýchlosť na slnečnom žiarení a slnečnom vetre, ktoré ovplyvňujú zloženie ionosféry (obr. č. 13).

Csökkenhetjük az ionoszféra hatását, ha nem a kora délutáni órákban mérünk (a mérés számára a legkedvezőbb ionoszféra-állapot este 10 és hajnali 4 óra között van). Lehetőleg ne mérjünk nagy pontosságot igénylő pontokat kora délután illetve nagy nap-aktivitás idején (Tímár 2007).

Vplyv troposféry

Troposférické oneskorenie je oneskorenie signálu pri jeho prechode troposférou. Troposféra je vrstva atmosféry do výšky asi 11 km nad zemským povrchom. Jedná sa o elektricky neutrálne prostredie (bez voľných iónov alebo s ich zanedbateľným množstvom). Oneskorenie signálu v troposfére ovplyvňuje hustota atmosféry, ktorá je závislá na teplote, tlaku a vlhkosti vzduchu. Troposférické oneskorenie môže byť kompenzované pomocou modelu troposféry. Tiež počas dažďov a v prítomnosti búrok by sme nemali určovať pozície bodov, pri ktorých je dôležitá veľká presnosť.

A mérésre kisebb, de nem könnyen modellezhető hatással van a troposzféra is. Ezzel kapcsolatban a legfontosabb szabály, hogy esőben, illetve zivatarok környezetében ne hajtsunk végre nagy pontosságot igénylő mérést (Tímár 2007).

Stabilita hodín družice

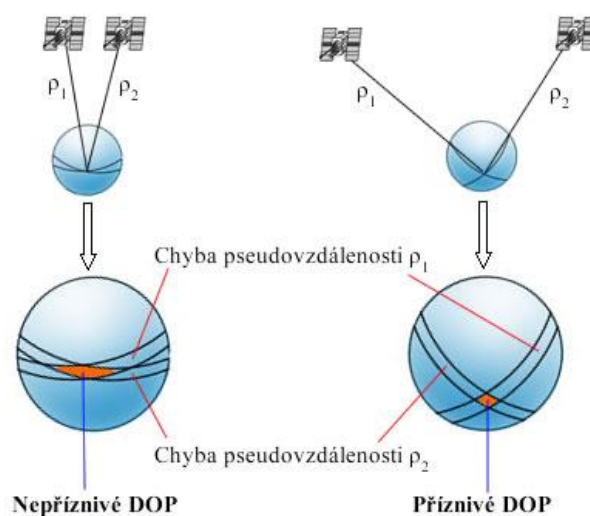
Ovplyvňuje frekvencia generovaných nosných vln a kódov. Chyba spôsobená stabilitou hodín by nemala presiahnuť 6,5 m po 95% času pri použití služby PPS. Pri použití SPS sa

táto chyba zvyšuje. Pri zachovaní stability hodín je tiež dôležitý časový rozdiel medzi hodinami družice a hodinami GPS prijímača. Napríklad odchýlka jednej mikrosekundy spôsobí chybu merania 300 m.

Chyba efemeríd a usporiadanie družíc

Chyba efemeríd družíc sa prejaví pri výpočte polohy družíc, a tým aj určenie polohy GPS prijímača. Efemeridy vysielané v navigačnej správe sú hodnoty predpovedané a chyba pri použití PPS by nemala presiahnuť 8,2 m po 95 % čase. Pri využití SPS je chyba efemeríd väčšia.

Vplyv geometrickej konfigurácie družíc na presnosť určovaných veličín sa vyjadruje pomocou faktora označovaného DOP (zníženie presnosti = Dilution of Precision). Nižšia hodnota DOP napovedá, že dané usporiadanie umožňuje určovať polohu a čas s vyššou presnosťou. Na obr. č. 14 môžeme sledovať ako ovplyvňuje usporiadanie družíc presnosť merania.



Obr. č. 14 geometrická konfigurácia družíc

Stav družice

Družice sú vybavené samostatne kontrolovateľnými mechanizmami, ktoré sledujú zdravotný stav družice priebežne. Stav družíc sleduje aj riadiaci segment. Pre každú družicu existujú dva príznaky: jeden nastavuje sama, druhý nastavuje riadiaci segment - so značným oneskorením. Stav je označený kódom, ktorý bližšie popisuje, ktorá služba družice je nepoužiteľná.

Pomer signál/šum

Čím nižšia hodnota, tým slabší je užitočný signál a zaniká tak v šume. Signály družíc sú relatívne slabé a pri ďalšom oslabení (napr. zelený) môže mať prijímač problémy s ich rozpoznaním a tak klesá presnosť určovania polohy.

Mnohosmerné šírenie signálu

Mnohosmerné šírenie signálu znamená, že vysielaný signál sa k prijímaču šíri viacerými cestami. Je spôsobené odrazom signálu od zemského povrchu alebo odrazom od rôznych predmetov (napríklad od budov ap.). Prijaté priame a odrazené signály sú relatívne fázovo posunuté a fázové rozdiely sú úmerné rozdielom v dĺžke dráhy (obr. č. 15).

A műholdak jelei nemcsak közvetlenül, de a tereptárgyakról vagy a talajról visszaverődve is a vevőbe juthatnak (többutas terjedés). Ennek elkerülésére ne mérjünk sík falak közelében, illetve a pontosságot növelhetjük azáltal is, ha a vevőt letesszük a földre (Tímár 2007).



Obr. č. 15 Mnohosmerné šírenie signálu

Ďalšie ovplyvňujúce faktory:

- Poloha družíc k vzhlľadom k prijímaču GPS
- Konštelácie a dostupnosť služieb
- Typ a kvalita antény GPS prijímača
- Poruchy GPS prijímača
- Uhlová vzdialenosť (rozsah) GPS prijímača
- Pohyb prijímača (statický, dynamický)
- Algoritmus výpočtu polohy GPS prijímača
- Doba pozorovania
- Poloha užívateľa

1.8. Referenčné stanice (RS)

1.8.1. Funkcia RS

Diferenciálna metóda GPS ako jediná umožňuje odstrániť systematické chyby na určovanie polohy. V tejto metóde sa využívajú dva prijímače zachytávajúce dáta z družíc v rovnakom čase. Jeden z prijímačov, ktorého poloha je známa, slúži ako referenčná stanica k druhému prijímaču, ktorý sa voľne pohybuje. Meranie a vytyčovanie v sieti referenčných staníc v reálnom čase ďalej zvyšuje presnosť a spoľahlivosť metódy DGPS. Centrálné spracovanie dát celej siete umožňuje odstraňovať geometrické a ionosférické systematické chyby pri zachovaní jednotnej presnosti na celej ploche siete. Takáto sieť je určená pre meranie v reálnom čase s obsluhou iba jediného merača. Jednoduchú obsluhu prístroja ľahko zvládne aj začiatočník, pretože väčšinu systémových úkonov preberá centrálny počítač. Cena, ktorú používateľ zaplatí za prácu v takej sieti, je neporovnateľne nižšia ako náklady na vybudovanie vlastnej referenčnej stanice (Kopal, Lindovský 2000).

1.8.2 SKPOS - SLOVENSKÁ PRIESTOROVÁ OBSERVAČNÁ SLUŽBA



Služba SKPOS so svojou infraštruktúrou permanentných staníc GNSS reprezentuje aktívne geodetické základy Slovenska a predstavuje dôležitú súčasť Štátnej priestorovej siete, ktorou je realizovaný referenčný systém ETRS89 na Slovensku. Permanentné stanice sú spoločne spracovávané a sú využité na poskytovanie tzv. sieťového riešenia pre potreby RTK meraní. Sieťové riešenie služby je vhodné najmä preto, lebo s výhodou eliminuje nedostatky tzv. single riešenia ako:

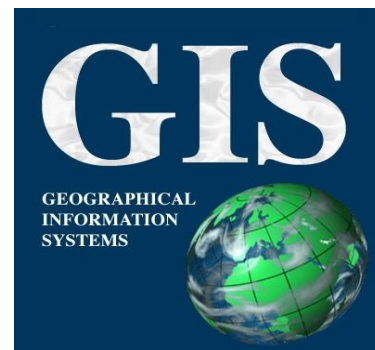
- Umožňuje vykonať meranie aj pri výpadku niektorej z referenčnej stanice.
- Značne eliminuje zníženie polohovej presnosti spôsobené narastajúcou dĺžkou základnice.
- Eliminuje negatívny vplyv ionosféry.
- Eliminuje vplyv troposféry.
- Zabezpečuje vyššiu spoľahlivosť merania a pozitívne vplyvy na zníženie inicializačného času.

INFRAŠTRUKTÚRA SKPOS

Služba je vybudovaná na štyroch pilieroch:

1. Legislatíva
2. Sieť referenčných staníc na príjem signálov GNSS umiestnených na geodetických bodoch
3. Národné servisné centrum (NSC). NSC plní funkcie riadiaceho, dátového, spracovateľského a analytického centra. Výsledkom sú služby **SKPOS-dm**,

1.9. Geografické informačné systémy (GIS)



1.9.1. Čo je Gis?

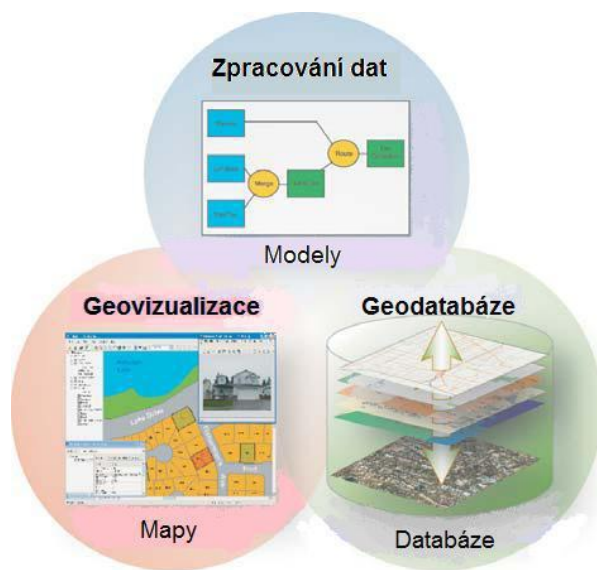
Geografické informačné systémy (GIS) sú jedným z najdynamickejšie sa rozvíjajúcich odvetví medzi informačnými systémami vôbec. Zvlášť v posledných rokoch sa stali súčasťou tvorby informačných systémov v dôsledku nezastupiteľnej úlohy lokalizácie objektov a javov spracovávaných týmito systémami. Výsledkom je vzrastajúci počet fungujúcich GIS v súkromnom aj vo verejnom sektore. Je pomerne ťažké jednoznačne definovať GIS, pretože existuje viacero rozdielnych prístupov a ťažko sa definuje hlavné ohnisko záujmu činnosti GIS. Jedna z definícií popisuje GIS ako súbor prostriedkov pre zber, ukladanie, vyhľadávanie, transformáciu, analyzovanie a zobrazovanie priestorových údajov z reálneho sveta, z týchto hľadísk (Borrougha 1986):

- polohy vzhľadom k definovanému súradnicovému systému,
- popisných (atribútových) vlastností,
- priestorových vzťahov k iným objektom.

Všeobecne sú GIS väčšinou chápané ako špeciálny prípad informačného systému. Informácie sa odvodzujú z interpretácie údajov, ktoré symbolicky reprezentujú reálne objekty. Na zaznamenanie priestorového vzťahu slúžia GISy. Sú to nástroje, pomocou ktorých sa dajú vytvárať a vizuálne prezentovať priestorové dáta (cesty, mestá, oblasti, štáty,...) a spájať tieto priestorové prvky so záznamami v databázach. Na takýchto dátach sa následne dajú vykonávať analýzy (trasovanie v cestných sieťach, analýza rizík záplav atď...), ktoré by sa v štandardných relačných databázach bez priestorovej lokalizácie vykonávať nedali. Existuje taktiež množstvo modulov a špecializovaných nástrojov k týmto systémom, ktoré dokážu vytvárať priestorové modely podľa reálneho sveta na základe dostupných informácií.

GIS obsahuje kompletnú sadu nástrojov pre prácu s geografickými dátami. Softvér pre GIS možno rozdeliť na tri čiastkové časti, z nich každý zastáva inú funkciu. To je znázornené na obr. č. 17. Jednu časť softvéru tvoria geodatabázy. Jedná sa o priestorovú databázu reprezentujúcu geografické informácie pomocou prvkov, rastrov, topológie, geometrických sietí, atď. Ďalšou dôležitou zložkou je geovizualizácia. Táto vlastnosť umožňuje zobrazovať vzťahy medzi prvkami na zemskom povrchu, analyzovať a editovať dáta

v geodatabáze. Pre potreby spracovania dát obsahuje softvér a sadu nástrojov pre odvodzovanie nových informácií z existujúcich. Tomuto spracovaniu geografických dát sa tiež hovorí geoprocessing (ESRI 2001-2004).



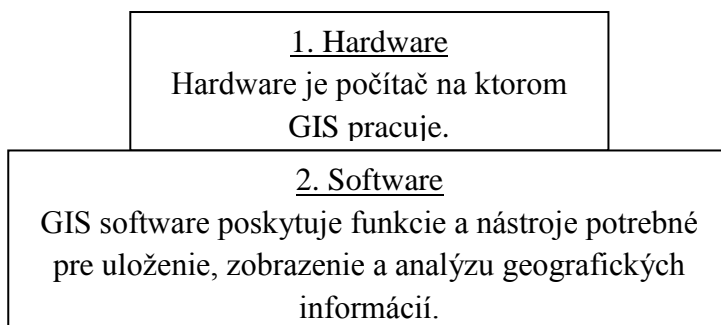
Obr. č. 17 tri kľúčové časti softvéru GIS (ESRI 2001-2004)

1.9.2. V čom sa líši GIS?

Technológia GIS spája bežné databázové operácie ako je zadávanie úloh a štatistické výpočty s jedinečnými možnosťami zobrazenia a priestorovej analýzy, ktoré poskytuje mapa. Tvorba máp a zemepisná analýza nie sú ničím novým, ale GIS dokáže tieto úlohy vykonávať lepšie a rýchlejšie ako tradičné metódy. Grafické (mapové) vyjadrenia sú pomocou GISu úzko previazané s informáciami obsiahnutými v databázach, a to čini GIS účinným nástrojom. Vďaka názornosti, kvantifikovateľnosti, prehľadnému grafickému vyjadreniu poskytuje GIS významnú podporu manažmentu. Najviac umožňuje zrýchlenie prístupu k rôznym mapám a odborným databázam a zlepšenie ich previazanosti.

1.9.3. Zložky GIS

Funkčný GIS obsahuje päť základných zložiek:



3. Údaje

Geografické údaje a s nimi spojené tabuľkové údaje je možné vytvárať interne alebo ich zakúpiť.

4. Pracovníci

GIS technológia stráca svoju hodnotu bez ľudí, ktorí dokážu spravovať systém a používať ho pri riešení reálnych problémov.

5. Metódy

Úspešný GIS pracuje podľa premysleného plánu a obchodných pravidiel, ktoré sú jedinečné pre každú organizáciu alebo pracovisko.

1.9.4. Pincíp GIS

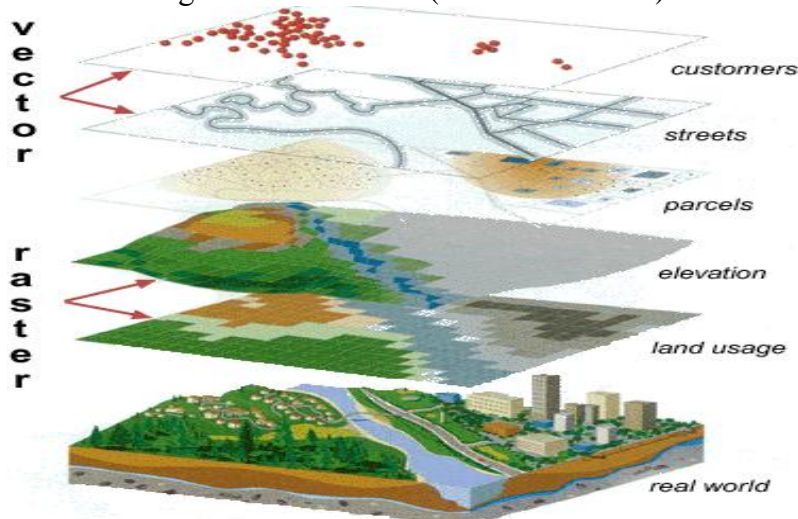
GIS ukladá informácie o svete ako súbor tematických vrstiev, ktoré sa dajú prepojiť na základe svojej zemepisnej polohy. Táto výnimočne efektívna a viacúčelová koncepcia sa ukázala ako neoceniteľná pri riešení mnohých problémov reálneho sveta, od stanovenia trasy nákladných vozidiel, cez územné plánovanie až po modelovanie svetovej atmosferickej cirkulácie.

Vektorový a rastrový model

Geografický informačný systém pracuje s dvoma zásadne odlišnými typmi geografických modelov - vektorovým a rastrovým (*obr. č. 18*).

Vo **vektorovom** modeli sú informácie o bodoch, čiarach a polygónoch zakódované a uložené ako súhrn x, y súradníc. Prvky: bodové, napr. ropný vrt, sa dá popísať jedným párom súradníc x, y. Lineárne prvky, ako sú cesty alebo rieky sa ukladajú ako séria bodových súradníc. Polygónové prvky, ako sú obchodné alebo administratívne územia, či povodia riek, je možné uložiť ako uzavreté slučky súradníc.

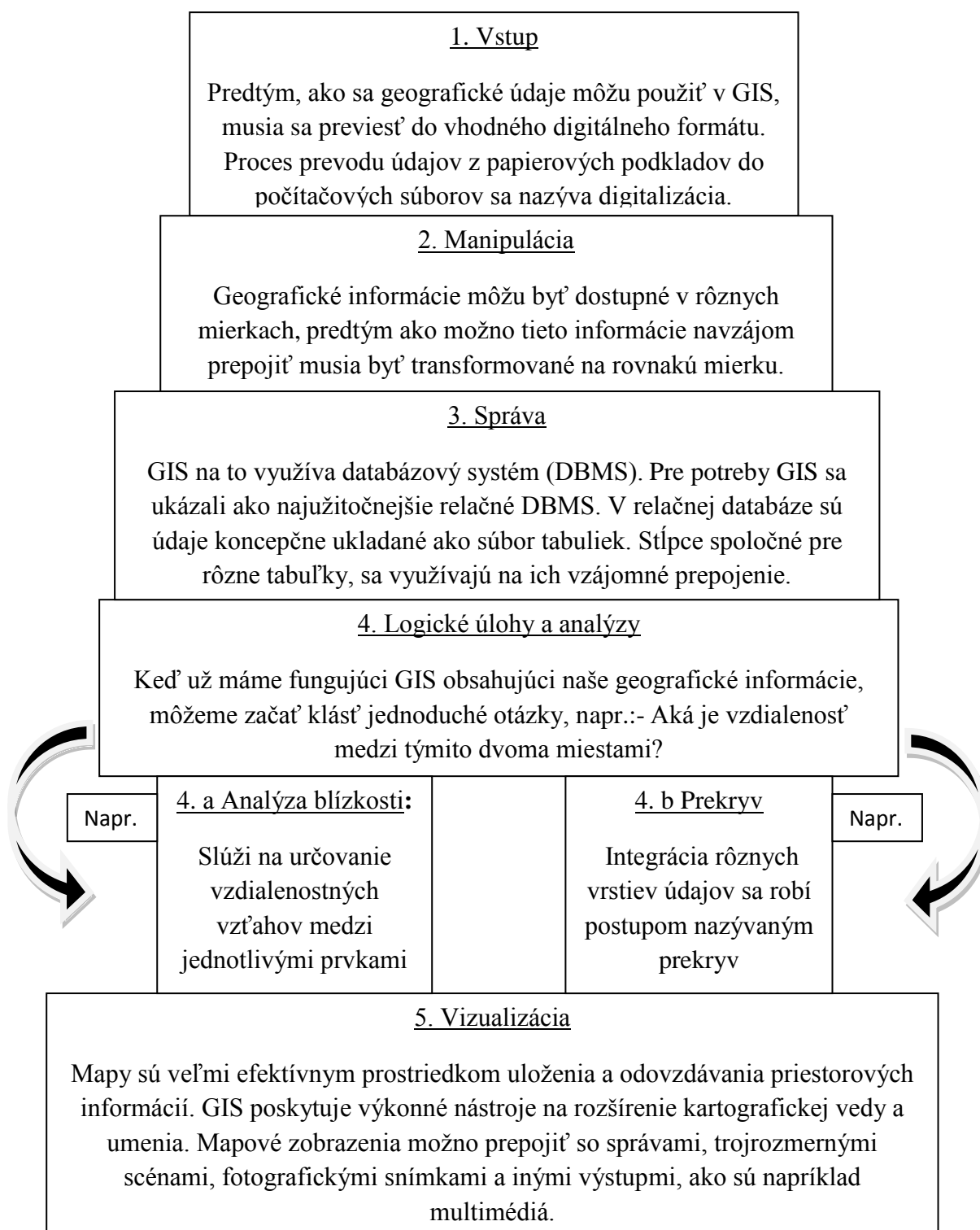
Rastrový obraz sa skladá zo súboru rastrových buniek, ako ich možno vidieť napríklad v skenovanej mape alebo na fotografickom snímku. (ESRI 2001-2004)



Obr. č. 18 rôzne vrstvy GIS

1.9.5. Úlohy GIS

Geografické informačné systémy v podstate vykonávajú päť základných procesov alebo úloh:



II. Praktická časť

2. Možnosti využitia dát získaných pomocou GPS pre ochranu životného prostredia

Technológia globálnych polohovacích a navigačných systémov sa využíva vo veľmi širokom spektre činností. Od počiatočného využitia vo vojenstve (letecká a námorná navigácia, ovládanie raketových systémov, riadenie pohybu pozemských síl a zariadení) sa ich využitie veľmi rýchlo rozšírilo do civilného sektoru, napríklad pre navigáciu lietadiel, lodí a pozemných dopravných prostriedkov, na riadenie priemyselných a poľnohospodárskych dopravných a technologických zariadení, do telekomunikačných služieb, rekreačných a športových aktivít, pre ochranu životného prostredia atď.

Využitie globálnych polohovacích a navigačných systémov v geovedách prináša nové možnosti pri zberu geodát a ich spoľahlivú, presnú a rýchlu lokalizáciu, čo je z hľadiska štúdia, popisu a modelovania prírodných objektov a systémov veľmi významné a pre nasledujúce rozhodovanie veľmi dôležité. Typickými aplikáciami sú súradnicové pripojenia trás geofyzikálneho leteckého prieskumu a leteckých a satelitných snímok, stanovenie polohy prieskumných lodí a vrtných plošín alebo pozemských technických prieskumných prác.

Cenné služby poskytujú pri pozemskom mapovaní v málo známych a zle prístupných terénoch, najmä tam, kde neexistujú dostatočne podrobné a spoľahlivé topografické mapy. Možno povedať, že ide o najdôležitejšiu technologickú inováciu pre terénne mapovanie.

Letecké štúdium niektorej zo svetovo najviac nepriechodnej divočiny sa vykonáva tiež s pomocou technológie GPS na vyhodnotenie oblasti flóry a fauny, terénu a ľudských infraštruktúr. Následovné vyhodnotenie snímok s GPS súradnicami nám pomáha pri plánovaní stratégií o zachovanie určitých oblastí.

V nasledujúcej časti mojej práce budú popisované príklady pre rôzne odvetvia spojené s ochranou životného prostredia, kde systém GPS prináša zlepšenie výsledkov a uľahčuje prácu ľudí.

Geologické mapovanie

V rámci geologických disciplín sa snímky resp. digitálne obrazy zemského povrchu využívajú v rámci geologického mapovania napr.: pri sledovaní rozšírenia horninových celkov (na základe reliéfu, farby alebo odtieňa, odrazivosti, mikroreliéfu, charakteru riečnej siete a rozšírenia druhu vegetácie). Značné možnosti poskytujú metódy diaľkového prieskumu Zeme pri vyhľadávaní ložísk nerastných surovín a pri sledovaní zmien povrchu Zeme.

Príklad na využitie v praxi:

Vedecká práca, ktorá popisuje fenomén zvaný Po pomocou GPS. Pomocou 146 meracích staníc sledujú vertikálne pohyby terénu. Roviny Po a Arno sú charakterizované poklesom oblastí, kým stanice umiestnené v oblasti Álp a Apennin ukazujú relatívne nízky zdvih (Baldi 2009).

Mapovanie platňovej tektoniky

Platňová tektonika je hlavným pôvodcom veľkoškálových tektonických javov ako sú zemetrasenia, sopečná činnosť (vznik sopečných alebo ostrovných oblúkov nad subdukovanou doskou), pásmových pohorí alebo reťazí vyhasnutých sopiek odsunutých od horúcich škvŕn. V súčasnej dobe môžeme pozorovať dôsledky platňovej tektoniky veľmi jednoducho – stačia presné zariadenia GPS alebo iného pozičného systému a môžu byť priamo merané ročné rýchlosti vzdľavovania sa kontinentov. Pomocou presnej informácie o polohe poskytovaných GPS, môžu vedci študovať, ako sa vytvára napätie v priebehu času. Do budúcnosti možno bude možné zemetrasenia lepšie predvídať.

Príklad na využitie v praxi:

Pomocou meracích staníc GPS sa sleduje pôsobenie Juhovýchodnej Ázijskej dosky na Austrálsky kontinent. Táto vedecká práca popisuje pohyb litosferických dosiek v oblasti Indonézie a jeho účinky na zemský povrch (Harris 2009).

Pri mapovaní platňovej tektoniky sa tiež využíva technológia GPS. Vedecká práca zameraná na túto tému, ktorá s pomocou diaľkového prieskumu Zeme mapuje zemetrasenia a snaží sa o ich predikciu (Blewitt 2007).

Protipovodňová ochrana

Povodne nie sú žiadnou jedinečnou udalosťou, niektoré územia sú zaplavované každoročne a ďalšie údolia tokov vo väčšom intervale. Existuje mnoho spôsobov vzniku povodní, ako napr. jarné topenie sa snehu, intenzívne a rýchle zrážky, zlé spôsoby vodohospodárstva a ďalšie. Zaplavené oblasti tak musia čeliť rôznym problémom a škodám. Z ľudského hľadiska sú to napr. poškodenie alebo úplné zničenie nehnuteľností, hygienické a zdravotné problémy v najhoršom aj úmrtia. Z hľadiska prírody povodne môžu mať pozitívne aj negatívne následky. Priaznivo spôsobí na roznos živín do pôdy, ale pri kontaminovanej vode napr. ťažkými kovmi môže zničiť fungovanie ekosystémov.

Základným predpokladom pre efektívnosť protipovodňových opatrení je dobrá znalosť povodia daného toku, geodetické mapovanie, tvorba digitálneho modelu terénu, terestrické laserové skenovanie a ďalšie. Presné zameranie súradníc s GPS s kombináciou analýzami a modelovaním v GIS je účinným prostriedkom v súčasnosti a aj do budúcnosti.

Príklad na využitie v praxi:

Odborný článok o použiteľnosti hore spomínaných metód. Pomocou dvoj- a trojrozmerných hydrodynamických modelov sa sledovali tri rieky na území USA. Výskum upozorňuje na nedostatky systému, ktoré pokrokom budú vyriešiteľné (Mervade 2008).

Ďalšom výskume z oblastí vysokých hor Švédska, Colorada, Švajčiarska a Pápua-Nové Guinea v ktorom sa sledovalo ako ľudské vplyvy ovplyvňujú dynamiku vysokohorských tokov.

Príkladov je veľa napr. kanalizácia, štruktúry stupňovej kontroly, odlesňovanie, hrádze, odstránenie bobrov a ďalšie. Výsledky naznačujú, že zásahy do horských tokov musia byť riadené so zreteľom na fyzickú a ekologickú odolnosť toku (Wohl 2006).

V článku o výskume, ktorý zapadá do 1. etapy projektu „Tvorba a vývoj environmentálnych technológií pri protipovodňovej ochrane sídiel Malokarpatskej oblasti – prípadová štúdia Modra“ sa tiež použili hore spomínané techniky (Orfánusz 2010).

Sledovanie šírenia olejových škvrn

GPS aparátúra namontovaná na bôju umožňuje monitorovanie pohybu olejovej škvrny na povrchu oceánov a to uľahčuje koordináciu nasledujúcich ochranných opatrení. Taktiež americkí vedci pracujú na vytvorení robota pomocou nanotechnológie, ktorý sa dokáže samovoľne pohybovať a čistiť vodu. Tieto jednotky budú používať bezdrôtovú komunikáciu a technológiu GPS.

Taktiež monitorovanie povrchu oceánov pomocou leteckého alebo družicového snímania s kombináciou špeciálnych senzorov, ktoré sú schopné rozpoznať hrúbku vrstvy oleja na hladine vody je sľubným prostriedkom.

Príklad na využitie v praxi:

Hore spomínaný spôsob sledovania olejových škvrn pomocou špeciálnych senzorov sa využilo vo vedeckej práci, ktorá vyhodnocuje efektivnosť tohoto spôsobu (Fingas 1997).

Sledovanie šírenia lesných požiarov

Najväčším problémom v boji proti lesným požiarom je určenie veľkosti, rýchlosti a smeru ohňa. Sledovanie časového priebehu požiaru je esenciálne pre predikciu šírenia ohňa. GPS systémy pomáhajú aj hasičským zborom pri synchronizácii jednotiek v teréne a v určení bezpečného a účinného postupu v záchranných akciách.

Príklad na využitie v praxi:

Vedecká práca, ktorá sa zaoberá so sledovaním prírodných lesných požiarov v oblasti Severného Ontária v Kanade. Tento nový prístup by mohol pomôcť v budúcnosti predvídať rozšírenie požiarov v závislosti terénu a porastu (Rommel, Perera 2001).

Ďalšia vedecká práca popisuje ako pôsobia prirodzené podrastové požiare na štruktúru, druhové zloženie a budúce disfunkcie lesa. Výskum bol realizovaný pomocou satelitov v nedotknutých oblastiach Amazónie (Morton 2011).

Drevinové zloženie a stav lesov

Druhy lesov sú mapované napr. na úrovni mierky 1:100 000 na základe obrazových údajov zo satelitov. Potom sa vytvorí tieňový model reliéfu ohľadom na príslušný azimut a výšku Slnka v čase snímania satelitom. Pri klasifikácii sa ešte využívajú podporné údaje ako sú napr. databanky LIC (Lesnícke informačné centrum). Mapovanie zdravotného stavu lesa (napr. napadnutie lesov škodcami) nadväzuje na mapovanie drevinného zloženia lesov.

Príklad na využitie v praxi:

Vedecká práca, ktorá skúma stav lesov v hornom povodí rieky Ton v indickom štáte Uttarakhand s pomocou diaľkového prieskumu Zeme a geografických informačných systémov (GIS) (Nandy 2011).

Ďalším príkladom je štúdium v ktorom sa zaoberajú s premenou tropického pralesa v oblasti Indonézie a Malajzii na plantáže palmového oleja, ktorá spôsobila poškodenie životného prostredia (strata biodiverzity, emisie CO₂). Bola použitá kombinácia pola s diaľkovým prieskumom Zeme (Morel 2011).

Vidiecke obyvateľstvo v Indii pre výrobu energie v domácnostiach používa ako palivo drevo. Vedecká práca, ktorá popisuje, že v budúcnosti môže spôsobiť značný problém vyčerpanie lesov a ich premena na poľnohospodárske plochy. Pre inventarizáciu bol využitý diaľkový prieskum Zeme, GIS a terénne prieskumy (Ramachandra 2010).

Inventarizácia lúk, pasienkov a minerálnych prameňov

Výsledkom spracovania aktuálnych obrazových záznamov zo satelitov sú počítačom spracované mapy, ktoré znázorňujú rozdelenie povrchu Zeme podľa porastu a tak uľahčujú inventarizáciu.

Slovensko je na výskyt minerálnych a termálnych vôd neobyčajne bohaté. Prieskum minerálnych a kúpeľných prameňov je súčasťou pasportizácie a inventarizácie prameňov. Pri tejto pasportizácii je každý prameň presne zameraný satelitnou technológiou GPS a sfotodokumentovaný.

GPS meteorológia

GPS meteorológia je metóda umožňujúca štúdium atmosféry z GPS meraní. Signály z družíc systému GPS prechádzajú atmosférou a sú ňou ovplyvňované. Pri použití špecifických vedeckých softvérov je však možné tento vplyv kvantifikovať a jeho vedomosti využiť. GPS meteorológia je práve metódou umožňujúcou výpočet hodnôt obsahu vodných pár v atmosfére z veľmi presných GPS meraní, uskutočňovaných najčastejšie GPS referenčnými stanicami.

Príklad na využitie v praxi:

Štúdium atmosféry v reálnom čase pomocou GPS systémov nám ponúka presnejšie dáta. Hlavné zameranie tejto práce je v predstavení systému „SuomiNet“ a popisu postupov a fungovania siete. Pozemný prijímač GPS vyrobí presné horné a dolné merania atmosféry za deň. Podľa fázy oneskorenia signálu, ktorá je vyvolaná atmosférou sa potom môže určiť obsah atmosférickej vlhkosti a celkový obsah elektrónov (TEC) (Ware 2001).

Ďalšia práca zameraná na sledovanie obsahu integrovanej vodnej pary v atmosfére. Od januára 1997 do augusta 1999 sa sledovalo denný cyklus vodnej pary pomocou 30 staníc GPS v Európe (Bouma 2001).

Monitoring migračných trás a voľného pohybu živočíchov

GPS prístroj zo záznamom trasy pripevnený na migrujúce živočíchov veľkou mierou uľahčuje sledovanie ich pohybu. Poskytuje tak presné dáta pre vytvorenie vhodných ochranných opatrení.

Tiež sledovanie voľného pohybu živočíchov je užitočné pre určenie ochranného pásma ich životného prostredia.

Príklad na využitie v praxi:

Štúdium z oblasti juhovýchodného Nórska, ktoré je zamerané na sledovanie súčasného chovania vlkov a losov. Zvieratá boli označované s GPS obojkami, ktoré mali zabudovanú vnútornú pamäť a zapisovali súradnice a čas (Eriksen 2011).

Výskum o korytnačke pravej z oblasti Grécka. Počas 73 dní bol sledovaný pohyb tohto druhu korytnačky pomocou prístrojov GPS. Táto práca napomáha pre správny manažment ochrany prírody (Scofield 2007).

V ďalšom výskume, ktorá bola zameraná na analýzu navigačných mechanizmov a stratégií migrujúcich vtákov sa tiež použili data z GPS prístrojov (Wiltschko 2012).

Plánovanie trás pre dopravu

V každodennom živote na plánovanie najkratšej trasy z bodu A do bodu B sú nám tiež na pomoc systémy na určovanie polohy. Pri takýchto optimalizáciách trás sa postupne znižuje spotreba paliva a tak aj emitované znečisťujúce látky do životného prostredia.

Príklad na využitie v praxi:

Vedecký článok popisujúci snahu o zvýšenie bezpečnosti pri povrchovej ťažbe. Kombináciou systémov GPS a Google-Earth poskytujú informácie pre vodičov nákladných vozidiel v reálnom čase. Výsledky výskumu naznačujú, že tento systém má potenciál znížiť neistotu vodičov a zvýšiť ich bezpečnosť (Sun 2010).

Odborný článok, ktorý popisuje metodiku použitia geografického informačného systému (GIS) pre hasičov vo francúzskej stredomorskej oblasti. Technológia je zameraná hlavne na ochranu proti lesným požiarom (Sauvagnargues – Lesage 2001).

Poľnohospodárstvo

Využívanie satelitnej navigácie GPS už preniklo do mnohých sfér každodenného života, ani poľnohospodárstvo nie je výnimkou. Postupné zvyšovanie výkonu používaných strojov (traktorov, kombajnov) od určitej hranice prináša už len malú mieru efektívneho využitia. Musel nastúpiť nový inovačný trend, ktorý sa zamerá na presnosť vykonávaných poľných prác. Jedným zo spôsobov umožňujúcich zvýšiť efektívnosť práce je optimálne využívanie pracovného záberu strojov a pracovnej plochy. GPS systém pomáha vodičom zvoliť si správnu trasu a pomocou autopilota je vo veľkej miere uľahčená ich práca.

Príklad na využitie v praxi:

Presné poľnohospodárstvo mimo toho, že znižuje finančné náklady, znižuje aj záťaž na životné prostredie. Práca popisuje možnosti použitia GPS systémov, ich efektívnosť napr. pri hnojení (Auernhammer 2001).

Ďalším príkladom je výskum geografických informačných systémov (GIS) a ich využitie v poľnohospodárstve. GIS sa používa napr. na analýzu terénu, vhodný výber hnojív, pesticidov, herbicidov a taktiež vyhodnotenie regionálneho znečisťovania (Petersen 1995).

Protilavínová ochrana

Lavíny všeobecne

Lavina je rýchly a náhlý sesuv väčšieho množstva snehu po svahu na dráze delší než 50 metrov (Vrba, Spusta 1975).

Okrem snehových lavín termín lavína sa niekedy používa aj na rôzne zosuvy iných materiálov ako napr. pôda, kamene, bahno a piesok. Moja práca je zameraná na problematiku snehových lavín s cieľom objasniť príčiny ich vzniku, efekty a nebezpečenstvo s nimi spojené.

Lavíny sú prirodzeným javom horských oblastí, kde majú všetky potrebné požiadavky pre vznik.

Vznik lavín závisí popri vývoji dvoch dynamických faktorov – počasia a vlastností snehu aj od tretieho štatistického faktora – terénu. Jeho topografické prvky – sklonitosť, expozícia. Nadmorská výška, členitosť, rozľahlosť lokalít a napokon vegetácia, podmieňujú veľkosť, početnosť, tvar, dynamiku a účinky lavín. Takmer každá snehová lavína zanecháva na povrchu terénu trvalé stopy s typickými tvarmi a znakmi (Milan 1981).

Typy lavín a ich charakteristické znaky

Podľa tvaru odtrhu rozoznávame:

Doskové lavíny

Charakteristické sú čiarou odtrhu a uvedením veľkej časti svahu do pohybu. Môžu vznikať u mokrého aj u suchého snehu.

Lavíny z voľného snehu

Za predpokladu, že sneh má malú súdržnosť, môže sa jednať o:

- suchý nový sneh pred vznikom väzby zín
- mokrý sneh pri povrchovom premočení
- mokrý starý sneh

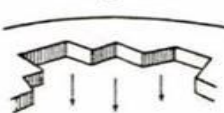
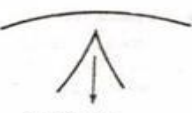
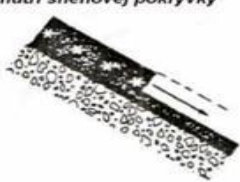



Podľa pohybu rozoznávame:

Prachové lavíny

Miestom uvoľnenia prachovej lavíny je obvykle suchý sneh z povrchu snehovej pokrývky. Z tohto miesta sa potom výrivým pohybom a s veľkou rýchlosťou pohybuje dole svahom a často sa rozširuje s postupným nabieraním novej snehovej hmoty. Sú tvorené voľným, nespevneným snehom zmiešaným s časticami vzduchu do aerosólovej zmesi.

Tečúce lavíny

Pri lavínach z mokrého snehu, u ktorých je charakteristické, že majú dlhšiu dráhu pádu ako šírku sa uplatňuje tečúci pohyb. Vznikajú z mäkkého premočeného snehu a pre ich pohyb platia zákonitosti prúdenia kvapalín.

	Znaky	
Tvar odtrhu		
Poloha klznej plochy		
Vlhkosť snehu	Suchý	Mokrý
Tvar dráhy (pričný profil)	Plošná lavína	Žľabová lavína
Forma pohybu		

Obr. č. 19 klasifikácia lavín (zdroj: laviny.sk)

Vplyv lavín

Pád lavíny môže spôsobiť zanedbateľné, ale niekedy aj obrovské škody v závislosti na jeho veľkosti a charakteru zasiahnutého územia.

a) Vplyv na ľudskú populáciu

Lavíny znamenajú veľké riziko pre určité skupiny ľudskej populácie. Ľudia žijúci vo vysokohorských oblastiach, horolezci, milovníci zimných športov, turisti a nehnuteľnosti sú vystavení tomuto riziku. Účinky lavín na ľudí môžu byť smrteľné. Príčiny smrti obetí lavín sú hlavne zadusenie pod snehom, podchladenie, mechanické zranenie alebo iné. Ich prežitie závisí na včasnej pomoci. Horská záchraná služba (HZS) má za úlohu mimo iných sledovať a informovať priebeh počasia v horách, určovať stupne lavínového nebezpečenstva a organizáciu záchranných akcií v horách.

b) Vplyv na životné prostredie

Hrozbu z oblasti životného prostredia lavíny znamenajú hlavne pre vegetáciu, ale aj pre niektoré živočíchy.

Často se združuje zejména ochranná úloha sněhu proti mechanickým i fyziologickým vlivům větru a proti ochlazení a promrzání nadzemních a kořenových orgánů rostlin. Negativně působí vysoká sněhová pokrývka zejména celkovým zkracováním vegetační doby a vytvořením anaerobního prostředí mezi zdusnými a zledovatělými horizonty, znemožňujícím zimní dýchací pochody v nadzemních orgánech fanerofytů (fanerofyty= životní forma rostlin s pupeny přecházejícími nepříznivé období výše než 25cm nad zemí na dřevnatělých stoncích. Jsou to stromy a keře (Kulhánková 1995)).

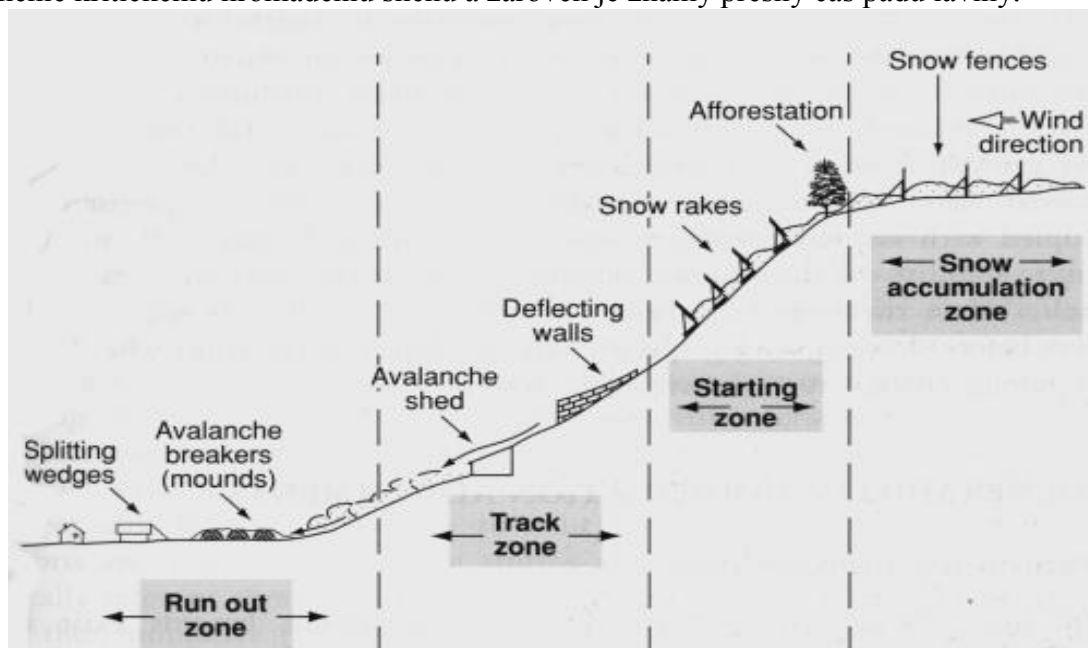
Z geobotanického hlediska však musíme rozdělit lavíny na náhodné a pravidelné. Náhodné sú neočakávané a uvoľňujú sa jednotlivito, tento typ lavín má ničivé účinky na vegetačný kryt, lebo rastliny na dráhe lavíny nie sú prispôsobené jeho pôsobeniu. Pravidelné lavíny sa uvoľňujú každoročne, niekedy aj viackrát za rok. Pre zasiahnuté územie sa tak stávajú súčasťou komplexu ekologických podmienok. Lavíny majú veľký vplyv na transport vysokohorských druhov do nižších vegetačných pásiem.

Monitoring a prevencia pred lavínami

Prevencia lavín má dve základné podoby. Prvá je vytyčovanie a mapovanie svahov, na ktorých môžu za vhodných podmienok lavíny vznikať s ohľadom na geomorfológiu, prítomnosť vegetácie atď. Horská služba priamo v teréne zisťuje aktuálne charakteristiky snehovej pokrývky (výška, teplota, štruktúra a pod), ktoré ďalej ovplyvňujú možnosť vzniku lavínového nebezpečenstva. Pri monitoringu sa využívajú napríklad rôzne metódy diaľkového prieskumu Zeme, GPS merania v teréne, analýza pomocou GIS pre určenie dosahu lavín a množstva kumulovaného snehu.

Druhou dôležitou zložkou prevencie je meteorologická predpoveď vzniku lavín, predovšetkým v závislosti od vetra, množstvo snehových zrážok a teploty. HZS informuje o aktuálnej situácii, v prípade ohrozenia uzatvára rizikové oblasti a vydáva varovné oznámenia.

Ochrana pred lavínami môže mať aktívnu alebo pasívnu podobu (Kukal, Z., 1983). Pasívna ochrana znamená stavanie rôznych protilavínových zábrán a snehových plotov, ktoré zabráňujú hromadeniu snehu v zóne akumulácie, alebo ktoré zachytávajú sneh v pásme nánosov (obr. č. 20). Aktívnou ochranou sa rozumie riadený odstrel lavín. Jeho výhody sú včasný zabránenie kritickému hromadeniu snehu a zároveň je známy presný čas pádu lavíny.



Vyhodnotenie storočnej lavíny v Žiarskej doline (25. 03. 2009)

Podľa odborného článku: MIKITA, T. Using GPS for snow depth and volume measurement of centennial avalanche field in High Tatras. Cold Regions Science and Technology, March 2011, Volume 65, Issue 3, Pages 392-400

Žiarsku dolinu nájdeme v Západných Tatrách v severnej časti Slovenska. Západné Tatry sú geomorfologický podcelok Tatier a rozkladajú sa na ploche 400 km².

Žiarska dolina leží 49°12 severnej šírky a 19°40 východnej dĺžky. Celková rozloha doliny je 22,2 km², najvyšší bod je 2178 m n. m. vrchol Baranec a najnižší bod je 800 m n. m. Smrečianka pri výstupe z doliny.

Soročná lavína, ako aj názov naznačuje, padne raz za niekoľko rokov tzv. raz za 100 rokov. Zvyčajne má veľké rozmery a ničivé účinky. Posledná takáto lavína spadla na územie Slovenska 25. 03. 2009 približne o 11:00 v Žiarskej doline. Horská záchranná služba v rámci svojich povinností dolinu už pred niekoľkými dňami uzavrela pre pretrvávajúci 4. stupeň lavínového nebezpečenstva. 15-16. 04. 2009 prebiehalo komplexné mapovanie lavínového povrchu pomocou presných GPS prístrojov. Mapovanie vykonávala HZS SR v spolupráci s Ústavom geoinformačných technológií LDF MZLU v Brne. Ďalšie mapovanie sa udialo po čiastočnom roztopení sa snehu 5-7. 10. 2009. Zo získaných dát sa potom vytvoril digitálny model terénu (DTM) a pomocou analýz v GIS sa určila plocha, hrúbka a množstvo snehu lavíny.

Použité prístroje a metódy

Pre výpočet množstva snehu vo väčšom priestore, kde nie je možné používať klasické metódy merania (pomocou tyče) sa musia použiť metódy založené na relatívnom rozdiely medzi úrovňou terénu a úrovňou nárastu snehu. Základný predpoklad pre túto metódu je znalosť priestorových údajov o teréne pod snehom vo forme vrstevníc pre vytvorenie DTM. Najpresnejší a tiež najrýchlejší spôsob mapovania územia je hypsometria, ktorá spočíva v pozemnom a leteckom laserovom skenovaní v súčasnej dobe. Laserové skenovanie je bežne používané v stavebníctve (Pfeifer et al. 2001) a aj na topografické mapovanie (Krasu, Pfeifer 1998, 2001). Diaľkový prieskum Zeme a laserové skenovanie umožňuje rýchly zber informácií, ale sú finančne náročné.

1.) Jarné mapovanie plochy lavíny pomocou GPS

Zameranie plochy prebiehalo 15-16. 04. 2009 pomocou rýchlej kinematickej metódy so zariadeniami GPS: 2 Topcon Hiper Pro a 2 Trimble GPS prístroje. Počet bodov jarného merania pre interpoláciu bolo 13 000 s výsledkom, že plocha lavíny bola 282 144 m² (28 ha). V mesiaci apríl boli vysoké teploty a preto treba brať do úvahy, že v čase merania výška snehu bola o 1-2 m nižšia (topenie sa snehu 10-20 cm/deň, 1 cm z celej plochy = 2 821 m³).

2.) Jesenné mapovanie terénu

Pre určenie skutočného objemu a hĺbky snehu prebehlo druhé mapovanie terénu 5-7. 10. 2009. Sneh z lavíny už bol čiastočne roztopený, ale niekde zostali aj 4 metrové haldy snehu. Počet bodov jesenného merania pre interpoláciu bolo 17 000. Po vzájomnom porovnaní modelov softvérom ESRI ArcGIS 9.3 sa učil objem lavíny na 993 222 m³ na ploche 28 ha s maximálnou hrúbkou 19,9 metrov.

Stručný prehľad parametrov storočnej lavíny

Celková plocha lavíny: 282 144 m² (28 ha)

Objem lavíny v deň merania: 993 222 m³

Objem 1 cm snehu na celkovej ploche: 2 821 m³

Priemerná hrúbka snehu: 3,5 m

Max. hrúbka snehu: 19,9 m

Počet bodov jarného merania pre interpoláciu: 13 000

Počet bodov jesenného merania pre interpoláciu: 17 000

Enviromentálne dopady lavíny

Lavína spôsobila veľké škody v priľahlých lesných porastoch. Po páde lavíny sa znížil prúd riečky Smrečianka, ktorá preteká údolím. Bolo to spôsobené zavalením koryta, voda z riečky si musela vyhlbiť až pol kilometrový tunel. Taktiež bola zavalená prístupová cesta do doliny a minimálne škody vznikli na Žiarskej chate.

Výsledky

Výskum poukázal na použiteľnosť systému GPS pri meraní plochy lavíny a hĺbky snehu. RTK metóda je rýchla a efektívna, ale obmedzená v nepriaznivom teréne (tienenie signálu kvôli stromom, nevhodná topografia terénu). Presnosť GPS pre merania bolo dostačujúce, ale nie je možné použiť dáta zo satelitov bez nasledovného zamerania v teréne.

Systém GPS je užitočný a použiteľný na každodenné merania pre HZS pre určenie lavínového nebezpečenstva.

Výskum je tiež dôležitou a presnou dokumentáciou storočnej lavíny v Žiarskej doline a poslúži ako kvalitný podklad pre ďalšie výskumy.

Model terénu bol vytvorený spojením leteckých snímok – ortofotomap, aby vznikla jedna vrstva. Povrch lavíny bol vykreslený v aplikácii ArcMap a 3D model bol vygenerovaný pomocou vrstevníc v aplikácii ArcScene. Tieto modely sú súčasťou príloh.

Záver

Hlavným cieľom tejto práce bolo poukázať na užitočnosť a efektivnosť GPS systémov na zber dát pre ochranu životného prostredia.

V práci som sa pokúsil o objasnenie fungovania a zloženia systému. Pokúsil som sa poukázať na chyby systému a ich zdroje, ktoré podľa môjho názoru časom a vývojom techniky budú vyriešiteľné. Ďalšie rozširujúce možnosti nám poskytuje GIS. Jeho hlavný význam spočíva vo vytvorení modelov pre rôzne procesy v prírode.

Konkrétne príklady slúžia pre ľahšie a lepšie pochopenie dôležitosti systémov určovania polohy. Význam systémov určovania polohy na Zemi je pre modernú spoločnosť nesporný.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV

- Ádám, Bányai, Busics, Krauter, Takács** (2004): Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi kiadó Budapest 2004
- Biskupič, M.** (2008). Modelovanie dosahu lavín s použitím GIS. Praha 2008
- Borrough, P. A., McDonnell, R. A.** (1998): Principles of Geographical Information Systems. 1. ed. New York: Oxford University Press. 98-102
- Borrough, P. A.** (1986): Principles of GIS for land resources assesment. Oxford: Clarendon Press: In: **Tuček, J.** (1998): Geografické informační systémy: Principy a praxe. 1.vyd. Hornocholupická, Praha 4: Computer Press., 19
- ESRI** (2001-2004): ArcGis 9: Co je ArcGIS? New York Street, Redlands, CA: ESRI
- Johnston, C. A.** (1998): Geographic Information Systems in Ecology. 1.ed. UK 1998
- Kaplan, E. D, Hegarty, Ch. J.** (2006): Understanding GPS: principles and Applications. 2.ed. Canton Street, Nordwood, MA: ARTECH HOUSE, INC. 2006
- Klonowski, J.** (2009): Interdisciplinary Knowledge Transfer within Surveying Higher Education. Vermessung & Geoinformation 2009
- Kopal, A., Lindovský, I.** (2000): Síť pevných referenčních stanic v České republice. GE0info 4/2000, 17
- Kraus, K., Pfeifer, N.** (1998): Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data. ISPRS-Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53.
- Kraus, K., Pfeifer, N.** (2001): Advanced DTM generation from LIDAR data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIV-3/W4, Annapolis, Maryland, USA
- Kukal, Z.** (1983): Přírodní katastrofy. 2. vyd. Horizont, Brno, 1983
- Kulhánková E.**(1995): Lesnický naučný slovník I. a II. díl, Ministerstvo zemědělství, Praha
- Leick, A.** (1995): GPS Satellite Surveying, Wiley-Interscience, New York 1995
- Li, Z., Zhu, Q., Gold, Ch.** (2005): Digital terrain modeling: principles and methodology. Boca Raton, Florida: CRC Press 2005
- Midriak, R.** (1979): Protilavínová ochrana lesa. 1. vyd. Bratislava 1997
- Milan, L.** (1981): Spracovanie katastru lavínových terénov a ich topografickej charakteristiky v horstvách Slovenska. Geografický časopis. 1981, roč. 33, č. 2, s. 145-166.

Neumann, J. (1996): Geografická informace: český výkladový a anglicko-český a česko-anglický překladový slovník. Praha 1996

Pfeifer, N., Stadler, P. Briese, C. (2001): Derivation of Digital Terrain Models in the SCOP++ Environment. Proceedings of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Terrain Models, Stockholm, Sweden

Pisca, P. (2005): Globálne navigačné systémy. 1.vyd. Ťilinská Univerzita v Ťilině 2005

Sedlák, V. (1997): Lokalizácia objektov v reálnom čase s využitím technológie GPS. Transactions of the Technical University of Košice 1997

Sedlák, V. (2001): Kozmická geodézia, Globálny polohový systém. TU Košice 1. Vyd. Košice 2001

Sedlák, V. (2003): Kozmická geodézia, Globálny polohový systém. TU Košice 2. Vyd. Košice 2003

Sedlák, V., Lošonczi, P., Podlesná, I. (2009): Družicové navigačné systémy. 1.vyd. Košice: VŠBM Košice 2009

Szentpéteri (2004): GPS mindenkinek. Sztrato Kiadó 2004

Tímár, G. (2007): Helymeghatározás GPS-szel 2007

TRIMBLE (2007): GPS. The First Global Navigation Satellite System. 1.ed. Sunnyvale, California: Trimble Navigation Limited 2007

Vrba, M., Spusta, V. (1975): Lavínový katastr Krkonoš, Opera Corcontica, Praha 1975

Literatúra k príkladom

AUERNHAMMER, H. Precision farming – the environmental challenge.
Computers and Electronics in Agriculture, February 2001, Volume 30, Issues 1–3, Pages 31-43
Dostupný komerčne také z digitálneho archívu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00153-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00153-8)

BALDI, P. GPS – based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy).
Earth and Planetary Science Letters, 30 October 2009, Volume 288, Issues 1–2, Pages 204-212
Dostupný komerčne také z digitálneho archívu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2009.09.023>

BLEWITT, G. 3.11 – GPS and Space-Based Geodetic Methods.
Treatise on Geophysics, 2007, Volume 3, Pages 351-390.
Dostupný komerčne také z digitálneho archívu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00058-4>

BOUMA, H. R. GPS observations of daily variations in the atmospheric water vapor content. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 2001, Volume 26, Issues 6–8, Pages 389-392

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S1464-1895\(01\)00071-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1464-1895(01)00071-0)

ERIKSEN, A. Activity patterns of predator and prey: a simultaneous study of GPS – collared wolves and moose. *Animal Behaviour*, February 2011, Volume 81, Issue 2, Pages 423-431

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2010.11.011>

FINGAS, M. F. Review of oil spill remote sensing.

Spill Science & Technology Bulletin, 1997, Volume 4, Issue 4, Pages 199-208

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S1353-2561\(98\)00023-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1353-2561(98)00023-1)

HARRIS, R. Plate boundary reorganization in the active Banda Arc – continent collision: Insights from new GPS measurements. *Tectonophysics*, 10 December 2009, Volume 479, Issues 1–2, Pages 52-65

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2009.01.026>

MERVADE, V. GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling & Software*, October – November 2008, Volume 23, Issues 10–11, Pages 1300-1311

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.03.005>

MIKITA, T. Using GPS for snow depth and volume measurement of centennial avalanche field in High Tatras. *Cold Regions Science and Technology*, March 2011, Volume 65, Issue 3, Pages 392-400

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.10.007>

MOREL, A. C. Estimating aboveground biomass in forest and oil palm plantation in Sabah, Malaysian Borneo using ALOSPALSAR data. *Forest Ecology and Management*, 1 November 2011, Volume 262, Issue 9, Pages 1786-1798

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.008>

MORTON, D. C. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forest using annual time series of Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 15 July 2011, Volume 115, Issue 7, Pages 1706-1720

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.03.002>

NANDY, S. Forest degradation assessment in the upper catchment of the river Tons using remote sensing and GIS. *Ecological Indicators*, March 2011, Volume 11, Issue 2, Pages 509-513

Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.07.006>

ORFÁNUSZ, M. Protipovodňová ochrana Modry – meracie práce.
Výzkumný ústav vodného hospodárstva 2010

PETERSEN, G. W. Geographic Information Systems in Agronomy.
Advances in Agronomy, 1995, Volume 55, Pages 67-111
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60538-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60538-6)

RAMACHANDRA, T. V. Mapping of fuelwood trees using geoinformatics.
Renewable and Sustainable Energy Reviews, February 2010, Volume 14, Issue 2, Pages 642-654
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.007>

REMMEL, T. K. – PERERA, A. H. Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of change detection. *Forest Ecology and Management*, 15 October 2001, Volume 152, Issues 1–3, Pages 119-129
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00594-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00594-6)

SAUVAGNARGUES – LESAGE, S. Implementation of a GIS application for French fire – fighters in the Mediterranean area. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1 May 2001, Volume 25, Issue 3, Pages 307-318
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S0198-9715\(00\)00028-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0198-9715(00)00028-4)

SCOFIELD, G. Novel GPS tracking of sea turtles as a tool for conservation management. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 24 August 2007, Volume 347, Issues 1–2, Pages 58-68
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2007.03.009>

SUN, E. GPS and Google Earth based 3D assisted driving system for trucks in surface mines. *Mining Science and Technology (China)*, January 2010, Volume 20, Issue 1, Pages 138-142
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60175-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60175-7)

WARE, R. H. Real – time national GPS networks for atmospheric sensing. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, August 2001, Volume 63, Issue 12, Pages 1315-1330
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):
[http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6826\(00\)00250-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6826(00)00250-9)

WILTSCHKO, W. Global navigation in migratory birds: tracks, strategies, and interactions between mechanisms. *Current Opinion in Neurobiology*, Available online 12 January 2012
Dostupný komerčně také z digitálního archivu ACM (DOI):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conb.2011.12.012>

WOHL, E. Human impacts to mountain streams.

Geomorphology, 30 September 2006, Volume 79, Issues 3–4, Pages 217-248

Dostupný komerčne také z digitálneho archívu ACM (DOI):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.020>

Internetové zdroje

[URL1] Wikipédia, Slobodná encyklopédia. Global Positioning System

<http://sk.wikipedia.org/wiki/GPS/>

[URL2] EPN web (2010) - www.epncb.oma.be – webová stránka Európskej permanentnej siete (EPN)

[URL3] Geodetický a kartografický ústav Bratislava web (2011) - <http://www.gku.sk/predmet-cinnosti/geodeticke-zaklady/gnss-uvod>

[URL4] NASA web www.nasa.gov Národní úrad pre letectvo a kozmonautiku

[URL5] Navigačné systémy GPS web www.nav.sk

[URL6] Európska vesmírna agentúra (ESA) web <http://www.esa.int/esaCP/index.html>

[URL7] Federal Aviation Administration (FAA) web www.faa.gov

[URL8] Wikipédia, Slobodná encyklopédia. GLONASS

<http://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS>

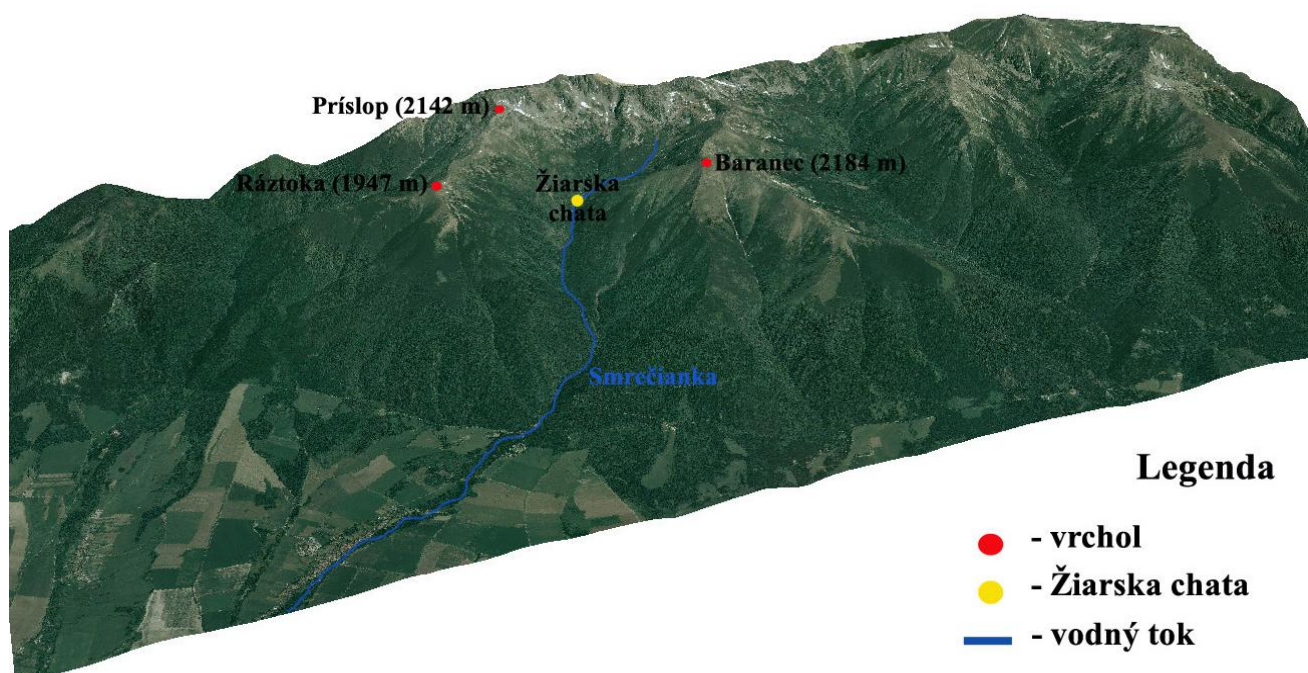
Odborné časopisy

Pri mojej práci mi boli veľkou pomocou rôzne odborné časopisy a odborné články. Rád by som niekoľko spomenul. Sú to časopisy: Computers, Environment and Urban Systems; Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics; Aerospace Science and Technology; Advances in Space Research; Journal of Hydrology; Journal of Glaciology; Hydrological Sciences journal; Scientific American; Natural Hazards and Earth system sciences; Opera Corcontica; Cold regions science and technology; Mining Science and Technology (China); Tectonophysics; Computers & Geosciences a ďalšie.

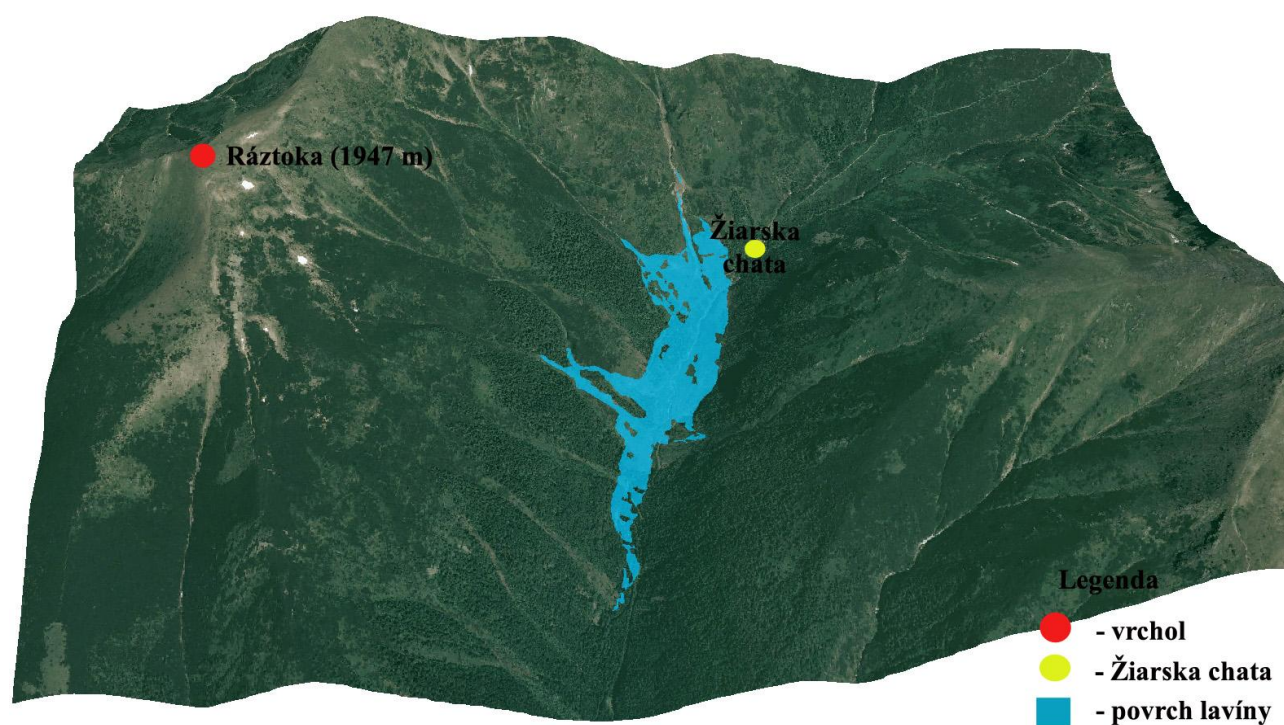
Zoznam príloh

Príloha č. 1 – Zájmová oblasť – 3D model Žiarskej doliny s ortofotomapou.....	55
Príloha č. 2 – 3D model Žiarskej doliny so storočnou lavínou (pohľad I.).....	55
Príloha č. 3 – 3D model Žiarskej doliny so storočnou lavínou (pohľad II.).....	56
Príloha č. 4 – 3D model Žiarskej doliny so storočnou lavínou (pohľad III.).....	56
Príloha č. 5 – Model reliéfu s lavínou (vľavo), povrch lavíny s ortofotomapou (vpravo).....	57

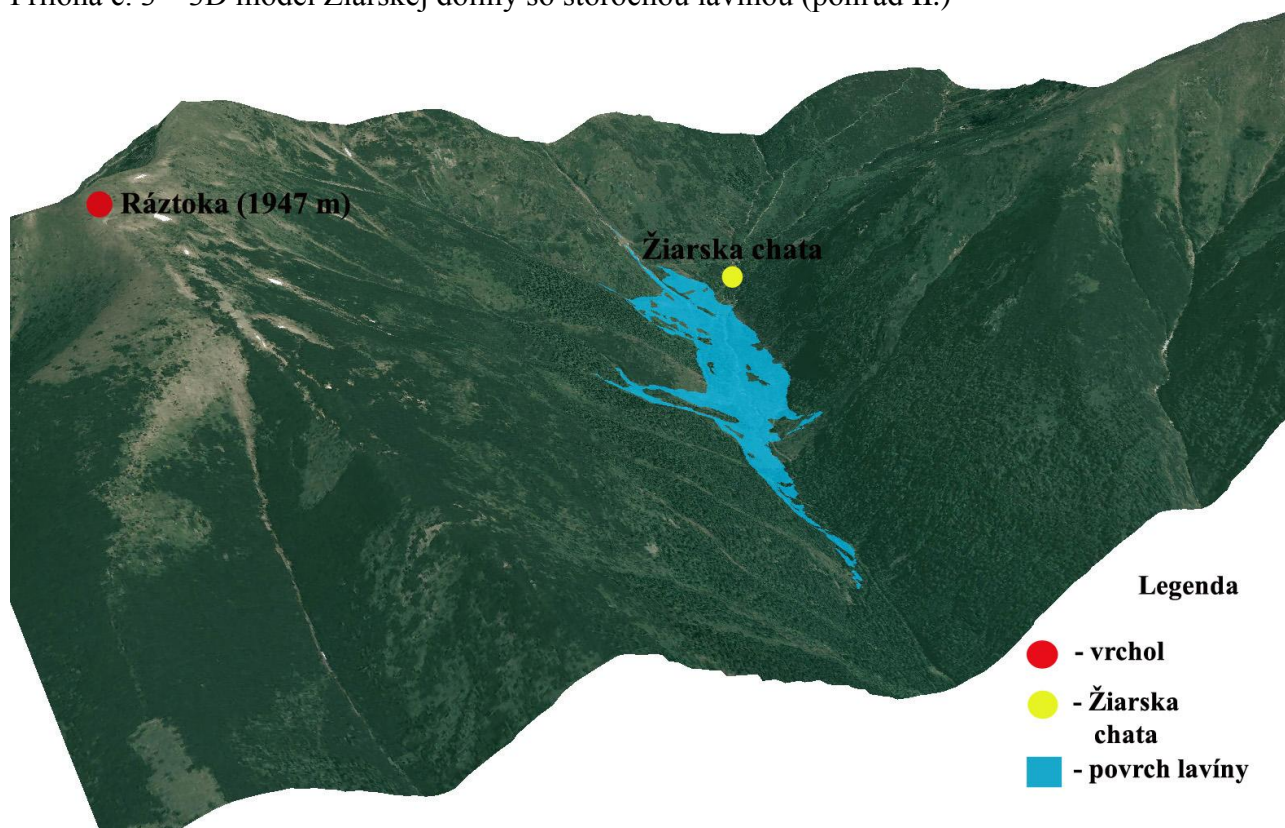
Príloha č. 1 – Zaujmová oblasť – 3D model Žiarskej doliny s ortofotomapou



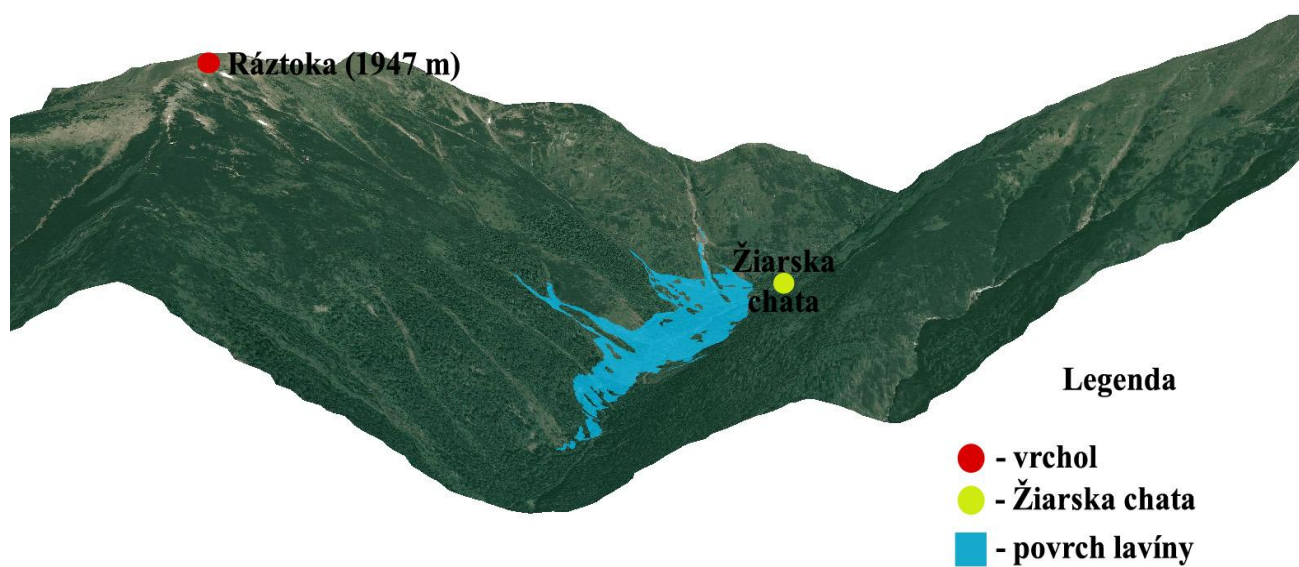
Príloha č. 2 – 3D model Žiarskej doliny so storočnou lavínou (pohľad I.)



Príloha č. 3 – 3D model Žiarskej doliny so storočnou lavínou (pohľad II.)



Príloha č. 4 – 3D model Žiarskej doliny so storočnou lavínou (pohľad III.)



Príloha č. 5 – Model reliéfu s lavínou (vľavo), povrch lavíny s ortofotomapou (vpravo)

